

Dieter Franz

Chemische Stromquellen

Primär- und Sekundärelemente

DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Leer

Der praktische Funkamateur · Band 79

Chemische Stromquellen

DIETER FRANZ

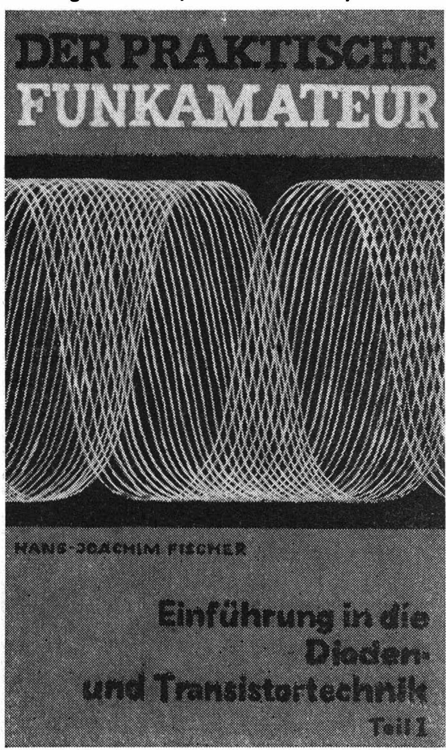
Chemische Stromquellen Primär- und Sekundärelemente



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Und so, liebe Leser, sieht ab Januar 1969 der Umschlag dieser Reihe aus:

Das Orginal ist in s/w Druck - scan by blackburner 2012



1.—15. Tausend
Deutscher Militärverlag · Berlin 1968 · Lizenz-Nr. 5
Lektor: Sonja Topolov
Zeichnungen: Gisela Michael · Fotos: Autor
Typografie: Günter Hennersdorf · Hersteller: Werner Briege
Vorauskorrektor und Korrektor: Ingeborg Kern
Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
1,90

Vorwort

Vielfältig sind die Formen, Größen und Einsatzgebiete galvanischer Elemente. So klein wie ein Stecknadelkopf ist die Batterie einer Magensonde. Im Batteriekeller einer Wählvermittlung der Deutschen Post stehen reihenweise zentnerschwere Bleisammler. Von der Stromversorgung des Schwerhörigengeräts bis zur Energiequelle für Elektrokarren erstreckt sich die reiche Skala der Anwendungsmöglichkeiten chemischer Stromquellen.
Fast täglich kommt heute ausnahmslos jeder von uns mit ihnen in Berührung. In Taschenlampen, Rasierapparaten, Kraftfahrzeugen begegnen wir ihnen. Noch bei weitem häufiger wird der Funkamateur oder Bastler mit ihnen zu tun haben. Als zuverlässige Energiequellen finden sie auch in unseren Fuchsjagdempfängern, in ferngesteuerten Modellen sowie in transportablen Funkstationen Verwendung.
Das vorliegende Heft soll einen Überblick über die hauptsächlichsten Arten, ihre vorteilhaftesten Einsatzmöglichkeiten und ihre „Bedienung“ geben. Es wendet sich speziell an Funkamateure, Bastler und Ladewarte, nicht zuletzt aber auch an alle *Normalverbraucher* chemischer Stromquellen. Dem Besitzer eines Kraftfahrzeugs wird beispielsweise gezeigt, wie er seine Fahrzeugbatterie behandeln muß, um sie lange Zeit nutzen zu können. Der Eigentümer eines Kofferradios *Sternchen* erfährt, was er tun kann, wenn er im Handel einmal nicht die genormten *Sternchen*-Batterien erhält.
Wenn Sie, lieber Leser, nach dem Durcharbeiten dieser Broschüre in die Lage versetzt sind, durch gute Pflege, durch Beherrschen der richtigen Ladetechnik sowie durch zweckmäßige Auswahl die Hälfte des Geldes zu sparen, das Sie bisher für Ihre Stromquellen benötigten, dann ist der Zweck dieses Heftes erfüllt.
Abschließend möchte ich allen, die an seinem Zustandekommen beteiligt waren, für ihre Bemühungen herzlich danken. Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. *Hans-Joachim Seifert* vom VEB Grubenlampenwerke Zwickau und dem VEB (K) Batterien- und Elementefabrik Tabarz.

Eggesin, im Februar 1968 *Dieter Franz*

Inhaltsverzeichnis

LEER

1. Allgemeine Grundlagen

1.1. Energieumwandlung als Grundlage der Gewinnung elektrischer Energie

Unter dem Begriff *Stromquellen* versteht man allgemein Vorrichtungen, die in der Lage sind, bestimmte Energieformen in Elektroenergie umzuwandeln. Nachfolgend werden die wichtigsten Umwandlungsformen erklärt:

Umwandlung kinetischer (Bewegungs-)Energie in elektrische

Die Stromquelle *Generator* (Dynamo, Lichtmaschine u. a.) wandelt Bewegungs- in Elektroenergie um. Diese Form der Energieumwandlung vollzieht sich in fast allen Kraftwerken.

Umwandlung chemischer Energie in elektrische

In der Stromquelle *galvanisches Element* wird chemische in elektrische Energie umgewandelt. Aufgabe dieser Broschüre soll es sein, mit den hauptsächlichsten Arten galvanischer Elemente, mit ihrer Behandlung und ihrem vorteilhaften Einsatz bekannt zu machen.

Umwandlung von Lichtenergie in Elektroenergie

Die in Belichtungsmessern verwendeten *Fotoelemente* wandeln Lichtenergie unmittelbar in Elektroenergie um. Als direkte Energieerzeuger werden Fotozellen auf Grund ihres geringen Wirkungsgrads nur in speziellen Geräten verwendet. Sie eignen sich allerdings durchaus als Stromquellen für Transistorschaltungen mit äußerst geringem Energieverbrauch. Bekannt sind die zur Stromversorgung künstlicher Erdsatelliten eingesetzten Sonnenbatterien.

Umwandlung von Wärme in Elektroenergie

Das Thermoelement wandelt Wärmeenergie direkt in Elektroenergie um. Für Wirkungsgrad und Verwendung als Energiequelle gilt das bereits beim Fotoelement Gesagte. Auf Grund des geringen Wirkungsgrads der Thermoelemente ist man z. B. in Wärmekraftwerken gezwungen, die Wärmeenergie zunächst in kinetische Energie und erst diese dann mit relativ hohem Wirkungsgrad in Elektroenergie umzuwandeln.

Mit Generatoren kommen wir als Bastler wohl weniger in Berührung. Sie liefern uns zwar ständig eine (einigermaßen!) konstante Spannung ins Haus, aber für ihre Pflege und Wartung sowie für ihren richtigen Einsatz sind wir nicht verantwortlich.
Anders ist die Situation bei galvanischen Elementen. Man bezieht sie als komplette Stromquellen aus dem Handel, und mit dem Zeitpunkt des Erwerbs stehen wir für jede entsprechend dem Verwendungszweck falsche Auswahl, für jeden Behandlungsfehler und jede Vernachlässigung ihrer Pflege ein. Ganz besonders trifft das natürlich für Akkumulatoren zu, also für wiederladbare galvanische Elemente.

1.2. Allgemeine Grundlagen der Umwandlung chemischer in elektrische Energie

In diesem Abschnitt werden lediglich die für das Verständnis der Broschüre unbedingt erforderlichen theoretischen Grundlagen gegeben.
Im Jahre 1789 hatte der italienische Arzt und Naturforscher *Luigi Galvani* für medizinische Untersuchungen ein Paar Froschschenkel mit einem Kupferhaken an einem eisernen Geländer zum Trocknen aufgehängt. Es war regnerisch und windig. Der Wind drückte die Froschschenkel zufällig gegen eine Eisenstange des Geländers. Im Moment der Berührung zuckten die Froschschenkel. Galvani glaubte, eine neue Art der Elektrizität, die „tierische" Elektrizität, entdeckt zu haben. Erst dem italienischen Physiker *Alessandro Volta* gelang 1796 die Erklärung des Froschschenkelversuchs und damit die erste Erzeugungsmöglichkeit elektrischen Stromes auf chemischem Wege. *Volta* stellte fest, daß bei der Berührung zweier Metalle mit der im Froschschenkel enthaltenen salzigen Flüssigkeit Elektrizität entsteht. Wie kommt es aber zu dem Effekt, ohne den die für uns so nützlichen galvaischen Elemente undenkbar wären?

1.2.1. Elektronen- und Ionenleitung

Legt man an einen metallischen Leiter (Kupfer, Eisen, Aluminium) oder an einen Halbleiter (Kohle, Silizium, Selen) eine elektrische Spannung, so bewegen sich die in ihm enthaltenen

freien Elektronen von Minus nach Plus. Stromfluß in festen Stoffen ist also gleichzusetzen mit Elektronenfluß. Der Leiter selbst bleibt dabei unverändert.

Bei festen Stoffen unterscheidet man *Leiter*, *Halbleiter* und *Nichtleiter* (Isolatoren). Auch Flüssigkeiten leiten den elektrischen Strom je nach ihrer chemischen Zusammensetzung gut, weniger gut oder gar nicht. Chemisch reines (destilliertes) Wasser und Öle sind nichtleitende Flüssigkeiten, Lösungen von Säuren, Salzen und Basen in Wasser leitende Flüssigkeiten (Elektrolyte). Allerdings vollzieht sich elektrischer Stromfluß in Flüssigkeiten infolge des Fehlens freier Elektronen auf anderer Grundlage als in festen Stoffen. Löst man Säuren, Salze oder Basen in Wasser, so zerfällt ein Teil der elektrisch neutralen Moleküle dieser Verbindungen in elektrisch geladene Atomgruppen, in sogenannte Ionen.

Die elektrische Ladung der Ionen entsteht dadurch, daß sie teils zuviel, teils zuwenig Elektronen enthalten. Da sie aus elektrisch neutralen Molekülen stammen, muß die Summe ihrer Ladungen Null ergeben. Positive Ionen weisen einen Mangel an Elektronen auf, negative Ionen dagegen einen Überschuß.

An folgenden Beispielen wird durch die Zeichen „+“ und „—“ angegeben, in welche Ionen die genannten Moleküle zerfallen und wieviel Elementarladungen sie tragen:

verdünnte Schwefelsäure	$H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{--}$
verdünnte Kalilauge	$KOH \rightarrow K^+ + OH^-$
Kupfersulfatlösung	$CuSO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4^{--}$

Man erkennt, daß stets das Metall oder der Wasserstoff zu positiven Ionen, die Molekülreste zu negativen Ionen werden. Fließt Strom durch den Elektrolyt, so wandern die positiven Ionen zur Katode (man nennt sie darum auch Kationen) und die negativen Ionen (Anionen) zur Anode. Der Elektrolyt wird durch den Strom zersetzt, die Zersetzungsprodukte werden an den Elektroden ausgeschieden. Berühren die Ionen die Elektroden, so geben sie bei negativer Ladung überschüssige Elektronen an die Anode ab, bei positiver Ladung neutralisieren sie sich durch Aufnahme von Elektronen aus der Katode.

Den Vorgang der Zersetzung des Elektrolyts bei Stromfluß nennt man *Elektrolyse*. Die Elektrolyse wird in vielfältiger Weise technisch angewendet:

— zur Metallgewinnung aus Metallsalzen,

— zur Metallreinigung (z. B. zur Herstellung von Elektrolytkupfer mit einem Reinheitsgrad von 99,99%),

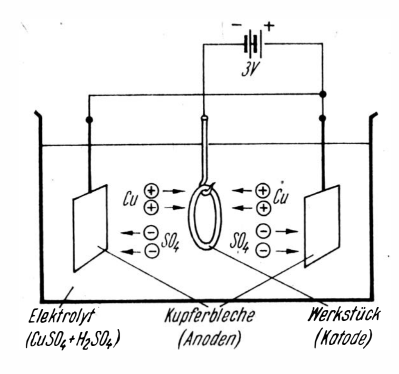


Bild 1
Verkupfern eines Werkstücks im galvanischen Bad

— zur Oberflächenbehandlung von Metallen (Galvanostegie),
— zur Oberflächenbehandlung von Nichtmetallen (Galvanoplastik).

In Bild 1 ist das klassische Beispiel des Galvanisierens, das Verkupfern eines Gegenstands, dargestellt.

1.2.2. Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle

Beim Eintauchen eines Metalls in einen Elektrolyt werden 2 einander entgegengesetzte Kräfte wirksam. Einerseits entsteht im Metall ein Lösungsdruck, der Metallionen in die Lösung treibt; andererseits entsteht im Elektrolyt ein osmotischer Druck, der Metallionen aus der Lösung auszuscheiden sucht. Taucht man Zink in verdünnte Schwefelsäure (Bild 2a), so überwiegt der Lösungsdruck. Vom elektrisch neutralen Zink gehen positive Zinkionen in Lösung. Der wachsende Elektronenüberschuß im Zink und der Elektronenmangel im Elektrolyt führen zu einem elektrischen Potential zwischen Elektrode und Elektrolyt, das bei einer gewissen Größe weiteren Zinkionen den Übertritt in die Lösung verwehrt.
Taucht man Kupfer in Kupfersulfatlösung (Bild 2b), so überwiegt der osmotische Druck. Positive Kupferionen schlagen sich an der Kupferelektrode nieder. Wachsender Elektronenüberschuß im Elektrolyt und Elektronenmangel im Kupfer rufen ein entgegengesetztes Potential zwischen Elektrode und Elektrolyt hervor. Das Potential wiederum verwehrt bei einer

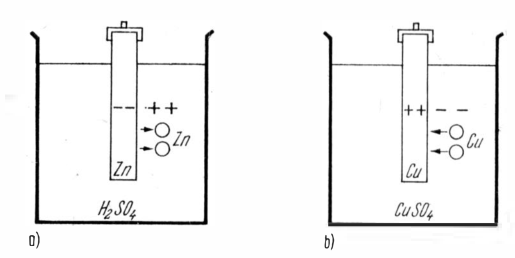


Bild 2 a — Lösungsdruck > osmotischer Druck, b — osmotischer Druck > Lösungsdruck

bestimmten Größe weiteren Kupferionen das Absetzen an der Elektrode.
Beim Eintauchen eines Metalls in einen Elektrolyt entsteht also ein Potentialunterschied zwischen Metallelektrode und Lösung. Bei Überwiegen des Lösungsdrucks hat die Elektrode gegenüber der Lösung negatives Potential, bei stärkerem osmotischem Druck dagegen positives. Ordnet man die Metalle nach der Größe ihres Normalpotentials an, so erhält man die elektrochemische Spannungsreihe der Metalle, die zuerst von *Volta* aufgestellt wurde:

(Minus) (Plus)
K, Na, Mg, Al, Zn, Fe, Cd, Ni, Pb, H, Cu, Hg, Au, Pt, C.

Die unedlen Metalle stehen am Beginn, die edlen am Ende der Reihe. Jedes Metall scheidet alle vor ihm stehenden aus ihren Metallsalzlösungen aus. Oxydierbarkeit und Lösungsdruck nehmen in der Reihe ab. Man erkennt bereits, daß die Größe des Potentials nur von der Zusammensetzung der Elektrode, nicht aber von ihrem Volumen oder ihrer Oberfläche abhängt.

1.2.3. Element, Polarisation, Depolarisation

Taucht man 2 unterschiedliche Metalle in einen Elektrolyt, so entsteht ein *galvanisches Element.* Seine Spannung setzt sich aus den beiden Elektrodenpotentialen zusammen. Dabei ist die in der elektrochemischen Spannungsreihe links stehende Elektrode der negative Pol, die weiter rechts stehende der positive Pol des Elements. Es liegt nahe, zum Erzielen eines hohen Potentialunterschieds zwischen beiden Elektroden Me-

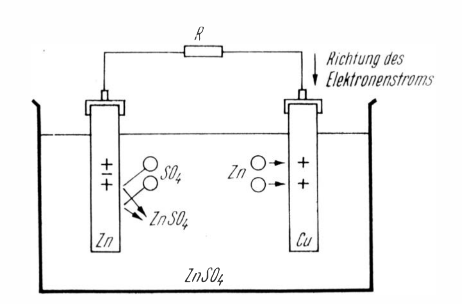


Bild 3
Polarisation eines Cu-Zn-Elements

talle zu wählen, die in der elektrochemischen Spannungsreihe möglichst weit voneinander entfernt sind.
Bild 3 zeigt ein galvanisches Element, bei dem eine Zink- und eine Kupferelektrode in Zinksulfatlösung eintauchen. Positive Zinkionen des Elektrolyts setzen sich an der Kupferelektrode ab und verursachen hier Elektronenmangel. Negative SO_4-Ionen wandern zur Zinkelektrode und verbinden sich dort unter Zurücklassung ihrer negativen Ladung zu Zinksulfat, das wiederum in Lösung geht. An der Zinkelektrode entsteht Elektronenüberschuß. Zwischen beiden Elektroden läßt sich eine Spannung von etwa 1 V messen. Entsprechend der Spannungsreihe ist Zink der negative, Kupfer der positive Pol des Elements. Verbindet man beide Elektroden über einen äußeren Stromkreis miteinander, so wandern Elektronen von der Zink- zur Kupferelektrode. Es fließt so lange Strom, wie sich 2 verschiedenartige Elektroden gegenüberstehen. Da aber die Kupferelektrode immer mehr verzinkt, stehen sich in kurzer Zeit 2 Zinkelektroden gegenüber. Aus diesem Grunde sinkt die Spannung verhältnismäßig schnell auf 0 V ab. Diesen Vorgang nennt man *Polarisation*.
Für den praktischen Gebrauch werden Stromquellen benötigt, die über einen längeren Zeitraum konstante Spannung abgeben. Es muß also gegen die Polarisation als Ursache für die kurze Gebrauchsfähigkeit der Elemente angegangen werden. Das geschieht mit Hilfe eines *Depolarisators*.
Bild 4 zeigt ein Kupfer-Zink-Element, bei dem Kupfersulfatlösung als Depolarisator wirkt. Beide Elektrolyte sind durch eine halbdurchlässige Wand (Diaphragma) voneinander getrennt. Die negativen SO_4-Ionen wandern zur Zinkelektrode, verbinden sich dort nach Abgeben ihrer Ladung mit dem Zink zu Zinksulfat, das wiederum in Lösung geht. Die positiven

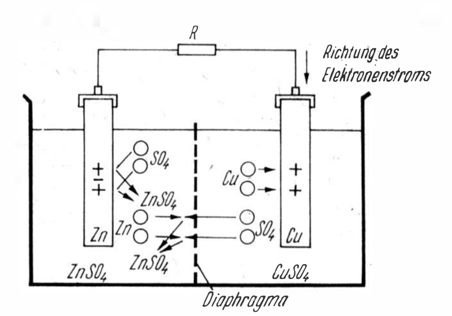


Bild 4
$CuSO_4$-Lösung als Depolarisator im *Daniell*-Element

Kupferionen bewegen sich zur Kupferelektrode und setzen sich dort ab. Aus den verbleibenden Zink- und SO_4-Ionen entsteht auf Grund ihrer entgegengesetzten Ladungen Zinksulfat. Bei Stromentnahme nimmt die Konzentration der Zinksulfatlösung zu, während die Zinkelektrode langsam zersetzt wird. Unser Depolarisator, die Kupfersulfatlösung, verhindert also das Niederschlagen von Zink an der Kupferelektrode. Die Oberfläche beider Elektroden verändert sich während der Stromentnahme nicht. Dadurch wird über längere Entladedauer eine gleichbleibende Spannung des Elements gewährleistet. Heute verwendet man das Kupfer-Zink-Element (auch *Daniell*-Element genannt) wegen seiner geringen Spannung (1,13 V), und da es 2 Elektrolyte benötigt, kaum noch.

1.3. Primär- und Sekundärelemente

1.3.1. Vorteile und Verwendung chemischer Stromquellen

Chemische Stromquellen haben gegenüber Generatoren eine Reihe von Vorteilen, die der Amateur bei seiner Arbeit ausnutzt. *Chemische Stromquellen lassen sich in leichten Ausführungen herstellen.* Sie werden dementsprechend zur Stromversorgung transportabler elektrischer Geräte (von Funkstationen, Kofferradios, tragbaren Meßgeräten, Leuchten) und aller Arten von Fahrzeugen eingesetzt.
Chemische Stromquellen liefern konstanten Gleichstrom. Demgegenüber hat der durch Wechselstromgleichrichtung gewonnene Gleichstrom immer eine kleine Wechselstromkomponente, die in Geräten mit Verstärkern zu den bekannten Brummerscheinungen führt.

Chemische Stromquellen sind jederzeit betriebsbereit und bedürfen keiner ständigen Wartung.

Den vielen Vorzügen der Elektroenergie steht der Nachteil gegenüber, daß sie kaum speicherfähig ist und in dem Augenblick vom Kraftwerk erzeugt werden muß, in dem sie gebraucht wird. Das einzige Mittel, elektrische Energie zu speichern, sind chemische Stromquellen. Aus diesem Grunde werden sie als Notstromlieferanten, zum Starten von Verbrennungsmotoren u. a. eingesetzt.

Chemische Stromquellen arbeiten lautlos.

1.3.2. Unterteilung chemischer Stromquellen

Chemische Stromquellen werden in 2 große Gruppen, in *Primär-* und *Sekundärelemente*, eingeteilt.

Primärelemente erzeugen elektrische Energie durch Auflösung der negativen Elektrode (Zink) in Elektrolyt. Sie sind sofort nach Herstellung zur Stromabgabe bereit. Nach Auflösung der negativen Elektrode bzw. nach Einsetzen der Polarisation sind Primärelemente verbraucht, und man kann sie wegwerfen. Als praktische Ausführungen kennen wir Monozellen, Taschenlampenbatterien, Anodenbatterien u. a. Primärelemente werden nur für kleine elektrische Geräte mit geringer Leistung verwendet, da sie sehr unwirtschaftlich sind. Schon bei völlig verlustloser Arbeit wird etwa 1 kg Zink pro kWh umgesetzt.

Sekundärelemente, auch Akkumulatoren, Akkus oder Sammler genannt, sind wiederladbare galvanische Elemente. Bei ihnen findet keine Zerstörung, sondern lediglich eine chemische Umwandlung der Elektroden statt. Der Akkumulator gibt nur elektrische Energie ab, nachdem er vorher mit einer mindestens gleich großen Energiemenge geladen wurde. Bei der Ladung wird elektrische in chemische Energie umgewandelt, bei der Entladung umgekehrt. Wie bei jeder Energieumwandlung treten auch dabei Verluste auf. Die Lebensdauer des Akkumulators hängt in starkem Maße von seiner Behandlung und seinem Einsatz ab. Nickel-Kadmium-Akkumulatoren z. B. können es bei richtiger Pflege auf 2000 Ladungen und Entladungen bringen. Sekundärelemente werden zur Speicherung überschüssiger Elektroenergie (Pufferbetrieb), zur Stromversorgung kontinuierlich benutzter, transportabler Elektrogeräte mit relativ hohem Stromverbrauch (im Gegensatz zur Verwendung der Primärelemente), zur Notstromversorgung u. a. verwendet.

1.3.3. Klärung einiger Grundbegriffe

Die *Zelle* ist der kleinste selbständige Bestandteil einer chemischen Stromquelle. Die Zelle besteht in jedem Fall aus 2 Elektroden und dem Elektrolyt.
Das *Element* ist eine mit einem Behälter versehene, gebrauchsfertige Zelle.
Die *Batterie* besteht aus mehreren, zu einer Einheit zusammenmontierten und -geschalteten Zellen.
Die *Kapazität* ist die Elektrizitätsmenge, die einem galvanischen Element entnommen werden kann. Dieser Begriff wird vorrangig bei Sekundärelementen verwendet. Die Kapazität bildet das Produkt aus Entladestromstärke und Entladedauer und wird also in Ampere-Stunden (Ah) gemessen. Da die Kapazität von der Höhe des Entladestroms abhängt, geben die Herstellerwerke die Nennkapazität von Sammlern immer im Zusammenhang mit der Entladestromstärke an, bei der diese Nennkapazität erreicht werden soll. So bezieht sich die Nennkapazität (K) der im VEB Grubenlampenwerke Zwickau hergestellten Bleisammler z. B. auf eine 20stündige Entladung (K_{20}). Ist ein Bleisammler dieses Herstellerwerks mit einer Kapazität von 12 Ah angegeben, so läßt er sich mindestens 20 Stunden mit 0,6 A entladen. Bei einer größeren Entladestromstärke wird die Nennkapazität nicht erreicht; bei einer kleineren Entladestromstärke wird die Nennkapazität überschritten.
Der *Ladefaktor* eines Sammlers gibt an, welches Verhältnis zwischen der bei der Ladung zuzuführenden und der bei der Entladung entnehmbaren Elektrizitätsmenge (Nennkapazität) besteht. So haben Bleisammler z. B. einen Ladefaktor von 1,5. Einem Bleisammler mit der Nennkapazität von 12 Ah müssen bei der Ladung also 18 Ah zugeführt werden. Der Unterschied zwischen zugeführter und entnehmbarer Elektrizitätsmenge entsteht durch die bei jeder Form von Energieumwandlung auftretenden Verluste.
Unter *Ah-Wirkungsgrad* versteht man den Kehrwert des Ladefaktors. Bleisammler haben also einen Ah-Wirkungsgrad von $\eta = 0{,}67$ bzw. 67%.
Der *Wh-Wirkungsgrad* gibt an, welches Verhältnis zwischen der bei der Ladung zugeführten und bei der Entladung entnehmbaren elektrischen Arbeit besteht. Der Wh-Wirkungsgrad bezeichnet also den eigentlichen Wirkungsgrad des Akkumulators. Er ist geringer als der Ah-Wirkungsgrad, weil neben

der größeren Elektrizitätsmenge auch eine höhere Zellenspannung bei der Ladung benötigt wird. So hat der Bleisammler z. B. einen Wh-Wirkungsgrad von nur 56%.

Unter der *Lebensdauer* eines Akkumulators versteht man die Zahl der Ladungen und Entladungen (Zyklen), die er übersteht, bis seine Kapazität auf etwa 70% der Nennkapazität abgefallen ist.

2. Primärelemente

2.1. Technische Ausführungen

2.1.1. Trockenelement

Den heute gebräuchlichen Aufbau eines Trockenelements in Becher-Zellen-Ausführung zeigt Bild 5. Die stabförmige Kohleelektrode, umgeben von Depolarisator und Elektrolyt, ist in einem Zinkzylinder, der als negative Elektrode fungiert, untergebracht. Als Elektrolyt wird Ammoniaklösung verwendet, die von saugfähigen Stoffen (Sägemehl u. a.) aufgenommen oder gallertartig verdickt ist. In einem rund um die Kohleelektrode angeordneten Stoffbeutel befindet sich Braunstein (MnO_2) als Depolarisator. Die zur Kohleelektrode wandernden positiven Wasserstoffionen verbinden sich mit dem Sauerstoff des Braunsteins zu Wasser. Der Zinkzylinder wird mit einer Füllmasse (meist Teer) luftdicht verschlossen. Die Zellenurspannung des Kohle-Zink-Elements beträgt 1,5 V.
Trockenelemente mit Rundzellenaufbau (Bild 5) stellt man als einzelnes Element bzw. als Reihenschaltung mehrerer Zellen in einer gemeinsamen Papphülle (Trockenbatterie) her. Für Batterien mit mehr als 3 Zellen wird meist Flachzellenaufbau verwendet.
Die Bezeichnung *Trockenelement* ist auf die obenerwähnte Eindickung des Elektrolyts zurückzuführen. Trockenelemente erfüllen dadurch eine der wichtigsten Forderungen, die man an Stromquellen für tragbare elektrische Geräte stellt: Betriebssicherheit in jeder Lage. Gebräuchliche Ausführungen von Trockenelementen und Batterien, ihre zweckmäßige Ver-

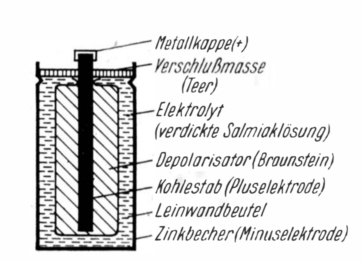


Bild 5
Aufbau der Trockenzelle

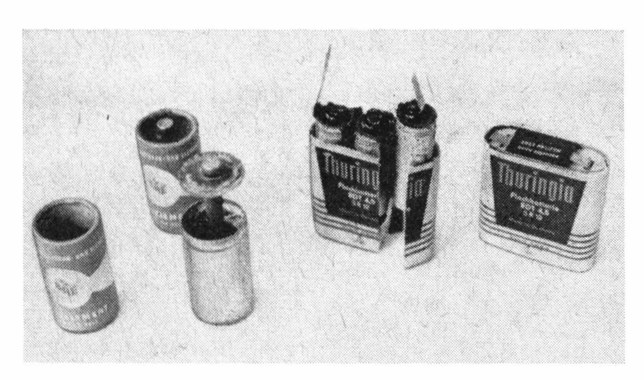


Bild 6 Praktische Ausführung handelsüblicher Trockenelemente und -batterien

wendung und die Möglichkeiten zur Steigerung der entnehmbaren Energiemenge werden in Abschnitt 2.2. und 2.3. behandelt.

2.1.2. Luftsauerstoffelement

An Stelle von Braunstein kann auch der Luftsauerstoff als Depolarisator im Kohle-Zink-Element verwendet werden. Luftsauerstoffelemente werden in Flachzellen-Ausführung gefertigt und in größeren Anodenbatterien eingesetzt. Die positive Elektrode besteht aus Aktivkohle und ist also imstande, den Luftsauerstoff an sich zu binden. Der bei Stromfluß entstehende Wasserstoff verbindet sich mit dem Luftsauerstoff zu Wasser, wobei die Aktivkohle als Katalysator wirkt.
Der Luftsauerstoff gelangt durch besondere Öffnungen im Batteriebehälter zu den Zellen. Diese Belüftungslöcher bleiben bei der Lagerung geschlossen und werden erst einige Zeit nach Inbetriebnahme (den Angaben des Herstellers entsprechend) geöffnet. Luftsauerstoffelemente sind gegenüber Braunsteinelementen um 30% leichter und können (obwohl auch nur begrenzt lagerfähig) länger gelagert werden. Demgegenüber vertragen sie keine große Belastung, weil der Luftsauerstoff nur langsam an die Zellen gelangt. Nur bei kleinen Stromstärken findet also eine ausreichende Depolarisation statt. Es

versteht sich, daß der Einsatz solcher Batterien in luftdicht abgeschlossenen Geräten nicht möglich ist.

2.1.3. Füllelement

Im Trocken- und Luftsauerstoffelement vollzieht sich durch den Elektrolyt auch dann ein Zersetzungsprozeß, wenn man keinen Strom entnimmt. Die daraus resultierende begrenzte Lagerfähigkeit führte zur Entwicklung des Füllelements. Dieses enthält den Elektrolyt in Pulverform und wird erst unmittelbar vor dem Einsatz durch Einfüllen von Wasser gebrauchsfertig. Füllelemente sind unbegrenzt lagerfähig und werden darum u. a. in Seenotleuchten eingesetzt. Bereits gebrauchsfertige Füllelemente sind sofort zu nutzen, da die unmittelbar nach Einfüllen beginnende Zersetzung die Zellen auch ohne Stromentnahme in kurzer Zeit unbrauchbar werden läßt.

2.1.4. Kadmium-Normalelement

Dieses auch als *Weston*-Normalelement bezeichnete Primärelement wird als *Spannungsnormal* verwendet. Seine Elektroden bestehen aus Kadmiumamalgan und Quecksilberoxidulsulfat. Als Elektrolyt wird gesättigte Kadmiumsulfatlösung verwendet. Das Kadmium-Normalelement hat eine gleichbleibende Urspannung von 1.0183 V bei 20 °C.

2.1.5. Brennstoffelement

Bei der Entladung eines Kohle-Zink-Elements würde ohne den Depolarisator nach kurzer Zeit ein Wasserstoff-Sauerstoff-Element entstehen, das zwar eine andere Urspannung hat, jedoch alle Merkmale eines galvanischen Elements aufweist. Diese Tatsache benutzt man im Brennstoffelement, das bei der elektro-chemischen Oxydation (Verbrennung) eines beliebigen Brennstoffs (z. B. Benzin, Propan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid u. a.) unmittelbar elektrische Energie erzeugt.

Die Entwicklung derartiger Elemente läuft gegenwärtig in vielen Ländern der Welt auf Hochtouren, wobei bereits hohe Wirkungsgrade erzielt wurden. Brennstoffelemente setzt man heute in Satelliten und bei anderen speziellen Geräten ein.

Der breiten Anwendung stehen gegenwärtig noch hohe Fertigungskosten, große Ausmaße und ungünstige Arbeitsbedingungen (Temperatur, Druck u. a.) gegenüber.

2.2. Gebräuchliche Primärelemente und -batterien

2.2.1. Kurzzeichen für Primärelemente und -batterien

Alle Primärelemente und -batterien sind mit Kurzzeichen beschriftet, die Auskunft über die wichtigsten technischen Daten geben, z. B. EJT 1,5:

1. Buchstabe	E	—	Element,
	B	—	Batterie;
2. Buchstabe	A bis R	—	Kennbuchstabe für die Abmessungen der Zelle nach TGL 7487 und TGL 6245;
3. Buchstabe	T	—	Trockenelement,
	L	—	Luftsauerstoffelement,
	F	—	Füllelement;
4. Buchstabe	H	—	Element mit Heizcharakteristik.

Die nachfolgende Zahl gibt die Urspannung in Volt an (1,5 V).
Bei Primärbatterien mit Flachzellen-Aufbau haben die Kurzzeichen folgende Bedeutung, z. B. BP 1829/9:

B	—	Batterie;
P	—	Flachzellen-Aufbau (Plattenzelle);
1829	—	Breiten- und Längenmaß der Flachzellen (18 mm × 29 mm);
9	—	Urspannung der Batterie in Volt.

In jüngster Zeit setzen sich immer mehr die Kurzzeichen nach der IEC-Empfehlung 86 durch, z. B. 4 R 25:

1. Zahl	Anzahl der in Reihe geschalteten Zellen (nur bei Batterien)
Buchstabe	R — Rundzelle,
	F — Flachzelle,
	S — quadratische oder rechteckige Zelle;
letzte Zahl	Kennziffer für die Abmessungen der Zelle.

Steht zwischen dem Buchstaben und der letzten Zahl, durch Bindestrich abgetrennt, eine weitere Zahl, so gibt diese die Anzahl von parallelgeschalteten Zellen an.
Die Kennzeichnung für verwendeten Depolarisator und Elektrolyt wird vor dem Buchstaben für den Zellenaufbau (R, F oder S) vorgenommen:

Kennzeichen	Depolarisator	Elektrolyt
kein Buchstabe	MnO_2	Salmiak
A	Luftsauerstoff	Salmiak
M	HgO	alkalisch
L	MnO_2	alkalisch

2.2.2. Produktionssortiment an Primärelementen

Nachfolgend werden die gebräuchlichsten, im Handel erhältlichen Primärelemente und -batterien in Zusammenhang mit ihren Gebrauchseigenschaften und ihrem Anwendungsgebiet beschrieben.
Alle wichtigen in der Aufstellung nicht enthaltenen technischen Daten sind im Anhang tabellarisch zusammengestellt (s. Tabelle 5.1, S. 95).
Hinter den althergebrachten Kurzbezeichnungen steht jeweils in Klammern die Kurzbezeichnung nach der IEC-Empfehlung (s. 2.2.1.).

Stabelement EJT 1,5 (R 20)
Dieses im allgemeinen Sprachgebrauch als Monozelle titulierte und sehr gebräuchliche Primärelement wird gegenwärtig in 3 Ausführungen gefertigt, die sich sowohl in ihren Gebrauchseigenschaften als auch im Einzelhandelspreis stark voneinander unterscheiden (Bild 7), und zwar als

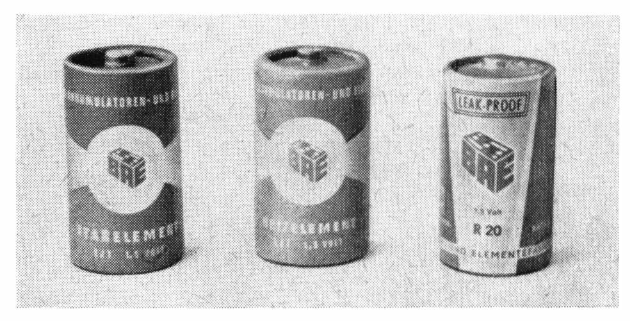


Bild 7 Stabelement *EJT 1,5* (von links nach rechts: normales Stabelement, Heizelement, Leak-Proof-Ausführung)

— normales Stabelement,
— Stabelement mit Heizcharakteristik (Heizelement),
— Stabelement mit Heizcharakteristik in *Leak-Proof*-Ausführung.

Das Heizelement hat gegenüber dem normalen Stabelement eine wesentlich verbesserte Entladecharakteristik. In Bild 8 sind beide Entladekurven für Dauerentladung über einen Entladewiderstand von 5 Ω grafisch dargestellt. Eine ununterbrochene, starke Entladung von Primärelementen ist zwar im höchsten Grade unrentabel (s. Abschn. 2.3.), für den Vergleich des üblichen Stabelements mit dem Heizelement jedoch gut geeignet. Ein ganz erheblicher Teil des Arbeitsvermögens eines üblichen Stabelements liegt bei Klemmenspannungen unter 1 V. Die Entladecharakteristik einer Heizzelle zeigt dagegen, wie aus Bild 8 ersichtlich, bei Spannungen über 1 V einen wesentlich flacheren Verlauf. Betriebsspannungsschwankungen von ± 20 % sind bei hochwertigen elektronischen Geräten ein gerade noch zulässiges Maß. Damit erhöhen sich im nutzbaren Teil der Entladecharakteristik bei der Heizzelle Arbeitsvermögen und Betriebszeit.

Die folgende Tabelle stellt die bei beiden Elementen praktisch ermittelten Werte für Dauerentladung über unterschiedliche Entladewiderstände einander gegenüber. Es wurde jeweils bis zur Klemmenspannung 1 V entladen.

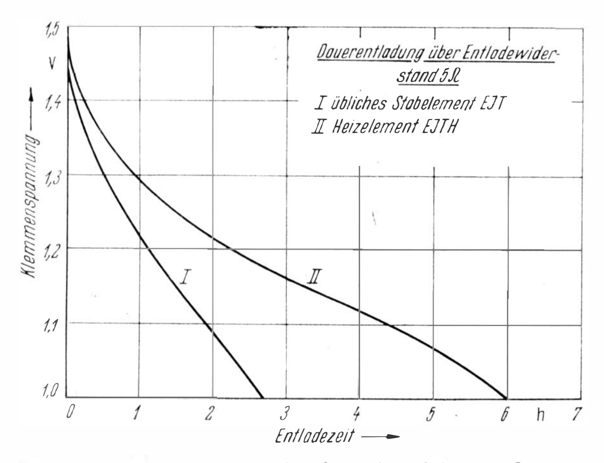


Bild 8 Entladekurven der Stabelemente *EJT 1,5* und *EJTH 1,5*

	Übliches Stab-element	Heiz-element	Steigerung (Stabelement ≙ 100%)
R_a = 5 Ω Entladezeit	2,75 h	6,00 h	218%
Arbeitsvermögen	0,77 Wh	1,68 Wh	218%
R_a = 30 Ω Entladezeit	24,00 h	40,00 h	167%
Arbeitsvermögen	1,17 Wh	2,08 Wh	178%

Die Tabelle zeigt deutlich die verbesserten Gebrauchseigenschaften der neuentwickelten Heizelemente. Besonders große Unterschiede in Betriebszeit und Arbeitsvermögen sind bei starken und lang anhaltenden Entladungen zu verzeichnen. Dazu kommt noch eine verbesserte Zellenabdichtung und Regenerierbarkeit (s. 2.4.2.). Alle diese Vorteile rechtfertigen den um nur 40% höheren Einzelhandelspreis bei weitem.
Stabelemente in *Leak-Proof*-Ausführung (lecksichere Ausführung) sind gegen Elektrolytaustritt und Aufquellen geschützt. Ihre Entladecharakteristik entspricht der eines Heizelements. Außerdem haben sie eine wesentlich höhere Lagerfähigkeit (laut Herstellerangaben mindestens 12 Monate). Der Amateur sollte sich bei dem um 150% höheren Anschaffungspreis überlegen, wo der Einsatz von *Leak-Proof*-Elementen gerechtfertigt ist.
Aus den unterschiedlichen Gebrauchseigenschaften der 3 Ausführungen des Stabelements EJT 1,5 ergeben sich auch ihre Einsatzmöglichkeiten.
Das übliche Stabelement wird zweckmäßig in elektrischen Geräten eingesetzt, die jeweils nur kurzzeitig genutzt werden bzw. eine relativ geringe Leistungsaufnahme haben (Stabtaschenlampen, elektrische Gasanzünder usw.).
Das Heizelement sollte in Geräten mit langen Betriebszeiten bzw. hoher Leistungsaufnahme verwendet werden (Transistorempfänger, tragbare Elektronenblitzgeräte u. a.).
Das Stabelement in *Leak-Proof*-Ausführung wird in hochwertigen elektronischen Geräten verwendet (in tragbaren Meßgeräten, elektrischen Uhren usw.).

Stabelement ECT 1,5 (R 10)
Diese Trockenzelle wird nicht als selbständiges Primärelement gefertigt, läßt sich aber durch Teilung der Stabbatterie *BCT 3*



Bild 9 Weitere Stabelemente und -batterien

sehr leicht gewinnen. In Bild 9 ist eine geteilte Stabbatterie abgebildet (mit und ohne Papphülle). Der Amateur kann dieses kleine und billige Element sehr gut in selbstgefertigten Prüf- bzw. Meßgeräten und Transistorschaltungen zur Stromversorgung einsetzen.

Stabelement EAaT 1,5 (R 6)
Bild 9 zeigt außerdem dieses wegen seiner geringen Abmessungen als *Gnomzelle* bezeichnete Primärelement. Es ist das kleinste im Handel erhältliche Stabelement und wird deshalb sowohl in vielen kommerziellen Geräten (*T 100/101*, *Mikki*, Multiprüfer usw.) als auch in Geräten des Amateurs überall dort eingesetzt, wo es auf Miniaturisierung des Gerätebaus ankommt und man einen Dauerstrom von 20 mA nicht überschreitet. Im Handel sind Elemente mit Heizcharakteristik sowie solche in Leak-Proof-Ausführung (aus Rumänien) erhältlich.
Das noch kleinere *Stabelement EAbT 1,5* (Durchmesser 14 mm; Höhe 25,3 mm) sollte der Amateur nicht mehr für Neukonstruktionen vorsehen. Seine Produktion läuft aus, und es ist bereits jetzt schwer erhältlich.

Stabbatterie BCT 3 (2 R 10)
Die in Bild 9 gezeigte Stabbatterie besteht, wie bereits oben erwähnt, aus 2 in einer gemeinsamen Papphülle übereinander angeordneten Stabelementen *ECT 1,5*. Die Batterie hat also eine Nennspannung von 3 V und eine mittlere Arbeitsspannung von 2,3 V. Sie findet in kleinen Stabtaschenlampen, elektrischen Gasanzündern und anderen Geräten Verwen-

dung. Bei kurzzeitigen Entladungen (täglich bis 5 min) sollte der Entladestrom nicht größer als 150 mA, bei Dauerentladungen nicht größer als 15 bis 20 mA sein.

Flachbatterie BDT 4,5 (3 R 12)
Neben der *Monozelle (EJT 1,5)* ist die Flachbatterie wohl die am häufigsten verwendete Primärstromquelle. Sie besteht aus 3 in einer gemeinsamen Papphülle nebeneinander angeordneten Stabelementen *EDT 1,5*. Ihre Nennspannung beträgt 4,5 V, ihre mittlere Arbeitsspannung etwa 3,5 V. Sie wird in tragbaren Meßgeräten, Kofferradios *(Trabant T 6, Spatz, Baby, Stern party)*, Taschenlampen, in fast jedem elektrischen Spielzeug und vielen anderen Geräten verwendet. Auch der Amateur setzt diese preiswerte Batterie gern zur Stromversorgung seiner tragbaren Geräte (Transistorempfänger, Meßgeräte u. a.) ein. Für kurzzeitige Belastung (täglich bis 5 min) sollte der Entladestrom nicht größer als 250 mA, bei Dauerentladung nicht größer als 25 mA sein. Der direkt an der Papphülle herausgeführte, längere Anschluß ist der Minuspol der Batterie. 2 gegenwärtig vom Handel angebotene Flachbatterien (DDR- und polnische Produktion) sind in Bild 9 dargestellt.

Batterie BP 1829/9
Diese Batterie (s. Bild 10) besteht aus 6 Flachzellen, 18 mm × 29 mm, hat eine Nennspannung von 9 V und eine mittlere



Bild 10 Primärbatterien mit Flachzellenaufbau (von links nach rechts: *BP 1121/22,5, BP 1829/67,5, BP 1829/9*)

Arbeitsspannung von 7 bis 7,5 V. Sie wird vorrangig für den Transistorempfänger *Sternchen* gefertigt; der Amateur verwendet sie aber auch gern als Stromquelle in selbstgebastelten Empfängern und anderen Transistorgeräten. Der Entladestrom sollte bei einer täglichen Entladedauer von 30 min 10 mA nicht überschreiten, damit eine lange Betriebszeit und eine hohe entnehmbare Energiemenge erzielt werden. Die Anschlußklemmen der Batterie sind unvertauschbar und kommen auf diese Weise den Erfordernissen bei Transistorschaltungen entgegen. Für selbstgebastelte Geräte kann die Klemmenplatte einer verbrauchten Batterie als Gegenstück zum Anschließen der Batterie verwendet werden.

Anodenbatterie BP 1121/22,5 (15 F 20)
Die aus 15 Flachzellen (11 mm × 21 mm) bestehende Batterie ist in Bild 10 dargestellt. Sie hat eine Nennspannung von 22,5 V und eine mittlere Arbeitsspannung von 19 V. Auf Grund ihrer geringen Abmessungen wird sie in Hörhilfen, zum Zünden von Blitzlampen usw. eingesetzt. Zur rationellen Nutzung der Batterie sollte bei einer täglichen Entladezeit von 4 h der Entladestrom 1 bis 1,5 mA nicht überschreiten.

Anodenbatterien BP 1829
Mit zunehmender Transistorisierung transportabler elektronischer Geräte geht der Bedarf an Anodenbatterien mit höheren Betriebsspannungen stark zurück. Gegenwärtig werden zur Sicherstellung der Stromversorgung älterer Geräte (z. B. Kofferradios *Libelle*, *Sylvia* usw.) noch folgende Anodenbatterien gefertigt:

BP 1829/67,5 (45 F 40), bestehend aus 45 Flachzellen (s. Bild 10);
BP 1829/75,0 (50 F 40), bestehend aus 50 Flachzellen;
BP 1829/85,0 (57 F 40), bestehend aus 57 Flachzellen.

Diesen Batterien sollte man hinsichtlich einer rationellen Nutzung bei einer täglichen Entladezeit von 4 h einen maximalen Entladestrom von 5 mA entnehmen.
Neben den obenbehandelten, am häufigsten verwendeten Primärstromquellen werden noch zahlreiche andere gefertigt. Im Anhang dieser Broschüre befindet sich eine Tabelle mit den wichtigsten technischen Daten der beschriebenen sowie einiger anderer gebräuchlicher Primärelemente und -batterien. Die Tabelle stützt sich auf Angaben der Herstellerwerke. Die in den Spalten *Entladewiderstand*, *tägliche Entladezeit* und *Entlade-*

schlußspannung angegebenen Werte sind empfehlenswerte Nutzungsbedingungen für die einzelnen Primärstromquellen. Die in den Spalten *Entladezeit* und *Arbeitsvermögen* folgenden Angaben stützen sich ausschließlich auf diese zuvor angegebenen Entladebedingungen.

2.3. Der Einfluß der Entladebedingungen auf das Arbeitsvermögen der Primärelemente

Solche Faktoren wie Lagerungsdauer, Temperatur bei Lagerung und Entladung, Entladestromstärke und tägliche Entladezeit haben einen großen Einfluß auf das Arbeitsvermögen von Primärstromquellen. Dieser Abschnitt soll darum dem Amateur Anhaltspunkte geben, wie er seinen Primärstromquellen durch Schaffung günstiger Entladebedingungen ein Optimum an elektrischer Arbeit entnehmen kann.

2.3.1. Einfluß der Lagerung auf das Arbeitsvermögen

Mit zunehmender Lagerzeit nimmt das Arbeitsvermögen von Primärstromquellen ab. Ihre Lagerfähigkeit ist abhängig vom Aufbau der Elemente (Art des verwendeten Braunsteins, Menge des Elektrolyts, Dichtheit der Zellen u. a.) und von der Temperatur bei der Lagerung (s. 2.3.2.). Die Herstellerwerke garantieren für ihre Primärstromquellen in der Regel eine Lagerfähigkeit von 6 Monaten, bei *Leak-Proof*-Ausführungen von 12 Monaten und bei sehr kleinen Zellen (EAaT, EAbT) von nur 3 Monaten (s. Tab. 5.1. Anh.). Schon die Beachtung der Lagerfähigkeit kann für den Verbraucher von Primärstromquellen äußerst nutzbringend sein. Auf jeder im Handel erhältlichen Primärstromquelle sind Lagerfähigkeit und Herstellungsdatum angegeben. Die Angabe des Herstellungsdatums (z. B. 27/67) setzt sich aus Herstellungswoche und -jahr zusammen (27. Woche 1967). Nach Verstreichen der garantierten Lagerzeit hat die Primärstromquelle nur noch 50 bis 80% des anfänglichen Arbeitsvermögens. Besonders bei wenig gebräuchlichen Batterien (z. B. Anodenbatterien u. a.) werden vom Einzelhandel oft Exemplare angeboten, deren garantierte Lagerzeit weit überschritten ist. (So war es dem Verfasser ohne Mühe möglich, eine fast 3 Jahre alte und also völlig entladene Anodenbatterie *BP 1829/67,5* zum vollen Einzelhandelspreis zu erwerben — und er nahm sie auch!)

Die nachstehende kleine Tabelle soll den Kauf von Primärstromquellen erleichtern, indem sie die in Frage kommenden Herstellungswochen den entsprechenden Herstellungsmonaten zuordnet:

1. — 5. Woche	Januar	27. — 30. Woche	Juli
5. — 9. Woche	Februar	31. — 35. Woche	August
9. — 13. Woche	März	36. — 39. Woche	September
14. — 17. Woche	April	40. — 44. Woche	Oktober
18. — 22. Woche	Mai	44. — 48. Woche	November
22. — 26. Woche	Juni	48. — 52. Woche	Dezember

Allerdings sollten wir nicht in den Fehler verfallen, als Lagerzeit nur die Zeit von der Herstellung bis zum Verkauf anzusehen. Gerade die Zeit vom Erwerb bis zur Nutzung ist durch den Verbraucher beeinflußbar und sollte deshalb möglichst kleingehalten werden. So wäre es ausgesprochen unüberlegt, wenn sich der *Sternchen*besitzer 3 Batterien *BP 1829/9* auf einmal kauft, jedoch nur alle 2 Monate eine neue Batterie benötigt.

Bei manchen elektrischen Geräten (bei elektrischem Spielzeug, Reisegeräten, batteriebetriebenen Meßgeräten) werden die Nutzungspausen zur hauptsächlichen Lagerzeit. Während längerer Nutzungspausen geht nicht nur das Arbeitsvermögen der Primärstromquellen verloren, sondern durch Aufquellen der Zellen und Austreten der Ammoniaklösung können erhebliche Schäden im Gerät hervorgerufen werden. Es ist daher ratsam, sich bei der Anschaffung und eigenen Herstellung batteriebetriebener Geräte von vornherein auf nur einen Typ von Primärstromquellen (z. B. Stabelement *EJT 1,5*) festzulegen, so daß bei Nutzungspausen die Weiterverwendung in anderen Geräten gewährleistet ist. Primärelemente lagert man am besten in möglichst kühlen und trockenen Räumen. Eine Selbstentladung durch ungünstige Lage oder abisolierte Anschlußleitungen sollte unbedingt vermieden werden. Durchstoßstellen bei Luftsauerstoffelementen und Einfüllöffnungen bei Füllelementen sind erst bei Inbetriebnahme zu öffnen.

2.3.2. Einfluß der Temperatur auf das Arbeitsvermögen

Die Temperatur beeinflußt über die Ionenbeweglichkeit den Innenwiderstand der Zellen. Bei fallender Temperatur werden Kurzschlußstromstärke, Arbeitsspannung und Kapazität geringer. Bei steigender Temperatur tritt über die erhöhte Ionen-

beweglichkeit eine stärkere Selbstentladung auf. Deshalb ist zwischen Temperaturverhalten der Zellen bei Lagerung und bei Nutzung zu unterscheiden.

Primärstromquellen sollten möglichst kühl gelagert werden, damit die Selbstentladung in geringen Grenzen bleibt. Demgegenüber nimmt mit fallender Temperatur bei der Nutzung das Arbeitsvermögen rapid ab. Die nachstehende Tabelle gibt die prozentual entnehmbare Kapazität von Trockenelementen für verschiedene Betriebstemperaturen an, ausgehend von 100% (Ah) bei üblicher Zimmertemperatur (20 °C):

— 30 °C ≙ etwa 15%	+ 10 °C ≙ etwa 80%
— 20 °C ≙ etwa 30%	+ 20 °C ≙ 100%
— 10 °C ≙ etwa 40%	+ 30 °C ≙ etwa 130%
± 0 °C ≙ etwa 60%	+ 40 °C ≙ etwa 180%

Diese Angaben sind nur Mittelwerte. Die einzelnen Herstellerfirmen geben unterschiedliche Temperaturkoeffizienten für ihre Trockenelemente und -batterien an.

Heizelemente und *Leak-Proof*-Zellen haben einen günstigen Temperaturkoeffizienten. Sie weisen bei — 30 °C noch etwa 30% ihrer normalen Kapazität bei Zimmertemperatur auf, bei + 40 °C etwa 150%.

2.3.3. Einfluß der Entladestromstärke auf das Arbeitsvermögen

Das Arbeitsvermögen aller galvanischen Elemente ist in hohem Grade von der Entladestromstärke abhängig. Die Hauptursachen dafür sind:

— *das Leistungsverhalten des Grundstromkreises*
Das Primärelement hat wie jede Stromquelle einen inneren Widerstand (R_i), an dem ein Teil der Gesamtleistung ohne Nutzen für den Verbraucher abfällt (Verlustleistung). Je größer der Entladestrom, um so höher ist auch die Verlustleistung im Element;

— *die begrenzte Wirksamkeit des Depolarisators*
Bei größeren Entladeströmen vermag der Depolarisator den sich relativ schnell entwickelnden Wasserstoff so kurzfristig nicht zu binden. Der damit rasch wachsende Innenwiderstand des Elements verstärkt in gleichem Maße zusätzlich den Anteil der Verlustleistung. Zudem wird ein großer Teil der noch verbliebenen Nutzleistung bei einer sehr kleinen und für den Verbraucher kaum noch verwendbaren Klemmenspannung abgegeben.

Ein Beispiel soll diese Erscheinung und ihre Bedeutung bei der praktischen Nutzung von Primärstromquellen verdeutlichen. 5 Flachbatterien *BDT 4,5* wurden über unterschiedliche Lastwiderstände bis zu einer Klemmenspannung von 2,25 V entladen. Aus den Entladekurven konnte man die elektrische Arbeit der Batterien errechnen.

Entlade-widerstand	elektrische Arbeit	Entladezeit bis U = 2,25 V
5 Ω	0,55 Wh	0,35 h
15 Ω	0,93 Wh	1,6 h
30 Ω	1,35 Wh	4,3 h
100 Ω	2,12 Wh	23,0 h
300 Ω	3,00 Wh	96,0 h

Der Kurzschlußstrom einer fabrikneuen Flachbatterie beträgt $I_k \approx 4{,}5$ A. Der innere Widerstand der Batterie ist also $R_i \approx 1\ \Omega$. Die vorstehende Tabelle beweist, daß eine Dauerentladung der Batterie erst bei $R_a \geqq 200\ \Omega$, also bei $R_a \geqq 200\ R_i$ rentabel wird. Diese Erkenntnis läßt sich auf alle Primärstromquellen übertragen. Damit ergeben sich für die gebräuchlichsten Primärelemente und -batterien folgende Lastwiderstände, die bei Dauer- bzw. längeren Entladungen nicht unterschritten werden sollten:

Primärstromquelle	I_k	R_i	R_a (min)
Stabelement EJT 1,5	4 bis 6 A	0,25 Ω	50 Ω
Heizelement EJTH 1,5	10 bis 12 A	0,125 Ω	25 Ω
Gnomzelle EAaT 1,5	2 A	0,75 Ω	150 Ω
Stabbatterie BCT 3	3 A	1,0 Ω	200 Ω
Flachbatterie BDT 4,5	4,5 A	1,0 Ω	200 Ω
Sternchenbatterie BP 1829/9	300 mA	30 Ω	6 kΩ
Anodenbatterie BP 1121/22,5	175 mA	125 Ω	25 kΩ

Mit den angegebenen Lastwiderständen sind Entladezeiten von 45 bis 80 h bei Dauerentladung garantiert.

2.3.4. Einfluß der Entladedauer auf das Arbeitsvermögen

Die im vorigen Abschnitt angegebenen minimalen Lastwiderstände für Dauerentladung gestatten bei den einzelnen Primärstromquellen im Vergleich zu ihren äußeren Abmessungen nur relativ geringe Entladeströme (z. B. beim Stabelement *EJT 1,5* nur etwa 30 mA). Die Entnahme größerer Ströme ist möglich, wenn man dem Depolarisator in entsprechend langen Ruhepausen Gelegenheit gibt, den zu schnell frei gewordenen Wasserstoff nachträglich zu binden. Je größer der Strom, um so kleiner die Entladezeit zwischen zwei Ruhepausen. Diese intermittierende (unterbrochene) Entladung kommt zudem den Nutzungsbedingungen der meisten batteriebetriebenen Geräte weitestgehend entgegen (Rasierapparat, Taschenlampe, elektrisches Spielzeug u. a.).
Ein Vergleich zwischen den Entladekurven für Dauer- und intermittierende Entladung bei sonst gleichen Entladebedingungen ist in Bild 11 dargestellt. 2 Stabelemente *EJT 1,5* des gleichen Herstellungsdatums wurden über den gleichen Lastwiderstand von 5 Ω bis zur Entladeschlußspannung 0,75 V entladen:

— Das 1. Stabelement erreichte nach 6,4 h Dauerentladung die Entladeschlußspannung und leistete in dieser Zeit eine elektrische Arbeit von etwa 1,25 Wh.
— Das 2. Stabelement wurde intermittierend, und zwar täglich 30 min entladen. Innerhalb dieser halbstündigen Entladung sank die Klemmenspannung durchschnittlich um

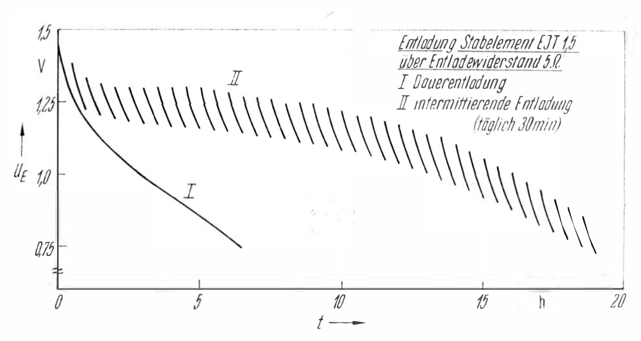


Bild 11 Vergleich zwischen Dauer- und intermittierender Entladung

0,15 V. Bis zur Entladung am nächsten Tag aber „erholte“ sich das Element so sehr, daß dann die Klemmenspannung nur unwesentlich unter der des Vortags lag (0,01—0,03 V). Bei dieser Form der Entladung erreichte das Stabelement erst nach 19 h die Schlußspannung und leistete in dieser Zeit eine elektrische Arbeit von etwa 4,83 Wh.

Unser Beispiel demonstriert eindeutig die Vorteile der intermittierenden Entladung: In einer auf das Dreifache gesteigerten Entladezeit kann der Batterie die 4fache elektrische Arbeit entnommen werden.

Die folgende Tabelle wurde durch Versuchsentladungen ermittelt und gibt den optimalen Ablauf der intermittierenden Entladung an:

Entlade-strom	Lastwider-stand	Entladedauer
$I = 0{,}005\ I_k$	$R_a = 200\ R_i$	Dauerentladung möglich
$= 0{,}01\ I_k$	$= 100\ R_i$	täglich nicht über 4 h entladen
$= 0{,}025\ I_k$	$= 40\ R_i$	täglich nicht über 30 min entladen
$= 0{,}05\ I_k$	$= 20\ R_i$	täglich nicht über 5 min entladen
$= 0{,}1\ I_k$	$= 10\ R_i$	täglich nicht über 1 min entladen

Die Angaben unter *Entladedauer* sollten nicht überschritten werden, wogegen eine Verkürzung der Entladedauer bei gleicher Belastung das Arbeitsvermögen in jedem Fall vergrößert. Die durchschnittlichen Innenwiderstandswerte für die gebräuchlichsten Primärstromquellen sind aus der Tabelle in Abschnitt 2.3.3. ersichtlich. Bei nicht in dieser Tabelle aufgeführten Elementen und Batterien kann der Innenwiderstand durch Messung des Kurzschlußstroms (I_k) ermittelt werden:

$$R_i = \frac{E}{I_k}; \quad E = n \cdot 1{,}5\ \text{V}; \quad n = \text{Anzahl der Zellen.}$$

Die Messung sollte an möglichst frischen und unverbrauchten Batterien vorgenommen werden, um das Ergebnis nicht zu verfälschen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die insgesamt erreichbaren Entladezeiten bei den oben angeführten Grenzfällen optimaler Entladebedingungen:

Lastwiderstand	tägliche Entladedauer	Nutzungstage	gesamte Entladezeit
$R_a = 200\ R_i$	24 h	3	72 h
$= 100\ R_i$	4 h	7	28 h
$= 40\ R_i$	30 min	24	12 h
$= 20\ R_i$	5 min	60	5 h
$= 10\ R_i$	1 min	120	2 h

1. Beispiel

Ein Transistorempfänger zieht 40 mA bei einer Betriebsspannung von 9 V. Er soll täglich bis 4 h betrieben werden. Gesucht ist eine geeignete Primärstromquelle.

Berechnung des Last- und Innenwiderstands:

$$R_a = \frac{U}{I} = 225\,\Omega\,.$$

Für eine tägliche Entladedauer von 4 h gilt:

$$R_i \leqq \frac{R_a}{100} = 2{,}25\,\Omega\,.$$

Betrachtung der in Frage kommenden Primärstromquellen

Primärstromquelle	R_i	erforderliche Anzahl	R_i (ges)
BP 1829/9	30 Ω	1	30 Ω
BDT 4,5	1 Ω	2	2 Ω
BCT 3	1 Ω	3	3 Ω
EJT 1,5	0,25 Ω	6	1,5 Ω
EJTH 1,5	0,125 Ω	6	0,75 Ω

Auswahl

Die Batterien *BP 1829/9* und *BCT 3* eignen sich nicht für die Stromversorgung des Empfängers, da der Innenwiderstand über dem für optimale Entladung geforderten Wert liegt. Verwendbar sind Flachbatterien *BDT 4,5* (insgesamt über 28 h Betriebszeit) sowie Stabelemente *EJT 1,5* und *EJTH 1,5*. Letztere wären sogar für Dauerentladung geeignet.

2. Beispiel

Die Einsatzgrundsätze für 3 handelsübliche Taschenlampen, die Stablampe mit einer *BCT 3*, die flache Taschenlampe mit

einer *BDT 4,5* und die Stablampe für 2 *EJTH 1,5* sollen ermittelt werden.

Taschenlampe mit	1× BCT 3	1× BDT 4,5	2× EJTH 1,5
R_i	2	1	0,25
I (Glühlampe)	0,1 A	0,15 A	0,2 A
R_a (mittl.)	25	24,3	12,5
$R_a : R_i$	12,5	24,3	50
maximale tägliche Leuchtdauer	etwa 2 min	etwa 10 min	etwa 60 min

Dieses Beispiel zeigt, wie durch eine einfache Überschlagsrechnung anzuschaffende Primärstromquellen bzw. batteriebetriebene Geräte schon vor dem Kauf den Nutzungsbedingungen angepaßt werden können.

2.4. Hinweise für den Bastler

2.4.1. Prüfung der Leistungsfähigkeit

Bei verbrauchten bzw. überlagerten Zellen steigt der Innenwiderstand, bedingt durch die Abscheidung nichtleitender Reaktionsprodukte an den Elektroden, stark an. Diese Tatsache nutzt man aus, um die Einsatzfähigkeit von Primärstromquellen zu prüfen. Mit einem möglichst niederohmigen Amperemeter ($R_i < 5\ m\Omega$) bzw. einem Multizet (Meßbereich 6 A) wird der Kurzschlußstrom gemessen.
Verbraucht bzw. überlagert und daher nicht mehr einzusetzen sind Primärstromquellen,
— die weniger als 50% des Kurzschlußstroms einer gleichartigen frischen Primärstromquelle aufweisen (s. 2.3.3. und 2.3.4.);
— bei denen der Kurzschlußstrom während der Messung stark zurückgeht.
Um die Zellen durch die Messung nicht zu überlasten, sollte diese nicht länger als 2 s dauern.
Der Bastler wird sich an diese zweckmäßige und immer häufiger angewendete Prüfmethode schnell gewöhnen. Auf keinen Fall dürfen Akkumulatoren (auch gasdichte) in dieser Weise auf ihren Ladezustand geprüft werden.

2.4.2. Regeneration von Primärstromquellen

Eine Umkehrung der Energieumwandlung, also eine Wiederaufladung, ist bei Primärelementen, bedingt durch den chemischen Aufbau, nicht vorgesehen und grundsätzlich auch nicht möglich. Trotzdem lassen sich durch Aufladen Gebrauchsdauer und Arbeitsvermögen der Primärelemente auf das 2- bis 20fache erhöhen. Bei allen guten Erfolgen bleibt der Unterschied zwischen Primär- und Sekundärelementen jedoch bestehen. Da es sich also um keine echte Aufladung wie bei Sekundärelementen handelt, wird der Begriff *Regeneration* bzw. *Reaktivierung* verwendet.

Solange es Trockenbatterien gibt, bemüht man sich um eine optimale Methode der Regeneration und um entsprechende *Ladegeräte.* Eine relativ primitive, aber weitverbreitete Methode ist es, die Leistungsfähigkeit des Primärelementes nach fast völliger Entladung nochmals durch künstliche Erwärmung aufzupulvern. Man kann diese Methode mit dem Doping im Sport vergleichen: Es wird keine echte Leistungssteigerung erreicht. Für ein Quentchen Gewinn an elektrischer Arbeit nimmt man den völligen chemischen Verfall und die um so unvermeidlichere Unbrauchbarkeit des Elements in Kauf.

Mit einer Gleichstromladung wie bei Sekundärelementen läßt sich das Arbeitsvermögen höchstens verdoppeln. Auch die Regeneration mit Hochspannungsimpulsen, vielfach bei Anodenbatterien mit Flachzellenaufbau verwendet, erhöht das Arbeitsvermögen kaum.

Als erfolgreichstes Regenerationsverfahren für Primärstromquellen erwies sich die Nachladung mit einem Regenerationsstrom, zusammengesetzt aus einer Gleichstrom- und einer relativ starken Wechselstromkomponente (s. Bild 12b). Man erreicht damit u. a. folgende chemische Vorgänge in den Zellen:

- Zurückverwandlung des reduzierten in hochaktives Mangandioxid für die Depolarisation,
- Befreiung des Elektrolyts von den in Lösung gegangenen Zinksalzen und relativ gleichmäßiges Niederschlagen metallischen Zinks an der negativen Elektrode,
- Verringerung des Zelleninnenwiderstands durch Zurückverwandlung der Zinkoxidschicht auf der negativen Elektrode in metallisches Zink.

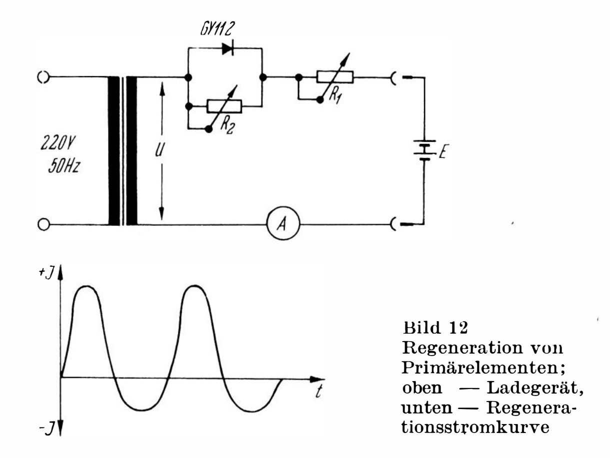


Bild 12
Regeneration von Primärelementen; oben — Ladegerät, unten — Regenerationsstromkurve

Schaltungstechnisch wird dieser Regenerationsstrom durch Parallelschaltung eines Widerstands zur Gleichrichterdiode erreicht (s. Bild 12). Die positive Halbwelle des Wechselstroms wird bestimmt durch U minus E und R 1, die negative Halbwelle durch U plus E und R 1 + R 2. Die richtige Einstellung des Regenerationsstroms wird an einem mit der Primärstromquelle in Reihe geschalteten Vielfachmesser überwacht.

Die Höhe des Regenerationsstroms wird durch die allgemeine Belastbarkeit der Primärstromquelle und damit auch durch ihren Kurzschlußstrom I_k in frischem Zustand bestimmt.

Richtwerte für die Einstellung des Regenerationsstroms:

- Im Gleichstrombereich des Vielfachmessers soll etwa 0,01 I_k,
- im Wechselstrombereich etwa 0,02 I_k

abzulesen sein.

So muß man bei der Flachbatterie *BDT 4,5* im Gleichstrombereich einen Strom von 45 mA, im Wechselstrombereich von 90 mA ablesen können.

Die Regenerationsdauer sollte bei dieser Stromstärke etwa 36 bis 48 h betragen.

Das genaue Einstellen des Regenerationsstroms mit den Widerständen R1 und R2 bereitet vielfach Schwierigkeiten, da Gleich- und Wechselstromkomponente von beiden Widerständen abhängig sind:

— Die Gleichstromkomponente erhöht sich mit Verkleinern des R_1 und Vergrößern des R_2.

— Die Wechselstromkomponente erhöht sich mit Verkleinern beider Widerstände.

Deshalb ist eine rechnerische Ermittlung beider Widerstände nach folgenden Faustformeln in jedem Fall zweckmäßig:

Voraussetzung $U = 1{,}5\ E$;

$$R1 = \frac{16\,(U - E)}{I_k}\,[\Omega];\ R2 = \frac{80\,(U + 1{,}5\,E)}{I_k} = 70\,[\Omega].$$

Beispiel

2 Heizelemente EJTH 1,5 sollen regeneriert werden. Zur Verfügung steht ein Netztransformator mit einer 6-V-Primärwicklung.

$$U = 6\ V;\ E = 3\ V;\ I_k = 12\ A;$$

$$R1 = \frac{16\,(U - E)}{I_k} = 4\,\Omega;$$

$$R2 = \frac{80\,(U + 1{,}5\,E)}{I_k} = 70\,\Omega\,.$$

Bei dieser Dimensionierung müssen im Gleichstrombereich des Multizets etwa 120 mA, im Wechselstrombereich etwa 240 mA abzulesen sein.

Die Regeneration sollte kurz nach jeder Entladung erfolgen (bei täglich genutzten Elementen jeweils über Nacht). Sie kann auch der Wiederauffrischung unverbrauchter, aber längere Zeit gelagerter Primärstromquellen dienen. Sinnlos ist es jedoch, völlig entladene und überlagerte Elemente regenerieren zu wollen. Mit der beschriebenen Regenerationsmethode erreichen einige Primärstromquellen das 10- bis 20fache Arbeitsvermögen; das gilt besonders für Heizelemente. Im Versuch lieferte ein Heizelement EJTH 1,5 selbst bei der 20. Entladung eine weit höhere elektrische Arbeit als das übliche Stabelement bei der 1. Entladung.

Die obigen Faustformeln gestatten den Bau spezieller Regenerationsgeräte mit Festwiderständen für eine bestimmte Anzahl und Art von Primärstromquellen.

2.4.3. Zusammenstellung eigener Flachzellenbatterien

Bei Bedarf ergibt sich für den Amateur die Möglichkeit, aus größeren Anodenbatterien (z. B. *BP 1829/67,5*) mehrere kleine Batterien mit beliebigen Betriebsspannungen zusammenzustellen. Ein solcher Bedarf kann auftreten, wenn die Weiterbenutzung von Transistortaschenempfängern (z. B. *Sternchen*, *Kosmos* u. ä.) gewährleistet sein soll, ohne daß Originalbatterien für diese Geräte im Einzelhandel zu bekommen sind, oder wenn man Miniaturstromquellen zur Stromversorgung selbstgebastelter Transistorgeräte, etwa für einen Transistorempfänger in Streichholzschachtelgröße, benötigt.

Bild 13 zeigt 2 solche selbstgefertigten Batterien. Der zur Kontaktgabe zwischen den einzelnen Flachzellen notwendige feste Sitz wird durch Gummi- oder Ankerplastwickel um die gesamte Batterie sichergestellt. Als Batterieabgänge werden die Abschlußbleche der Originalbatterie an beiden Seiten aufgedrückt.
Aus einer Anodenbatterie *BP 1829/67,5* lassen sich auf diese Weise 6 bis 7 *Sternchen*-Batterien *BP 1829/9* anfertigen. Bei einem hohen Verbrauch an *Sternchen*-Batterien ist diese Methode zudem rentabler.

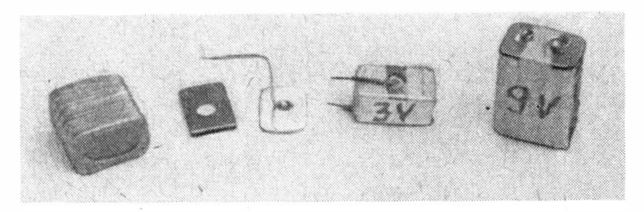


Bild 13 Selbstgefertigte Flachzellenbatterien *BP 1829/3* und *BP 1829/9* für Taschenempfänger

3. Sekundärelemente

Die im vorigen Abschnitt behandelten Primärelemente benötigen, wenn man von der Wahl ihres Einsatzes und der Möglichkeit der Regeneration absieht, keine besondere Pflege und Wartung. Man bezieht sie als fertige Stromquellen im Handel und ist danach lediglich angehalten, die einmalige Entladung durch günstige Entladebedingungen möglichst optimal zu gestalten.
Völlig anders liegen die Verhältnisse bei Sekundärelementen (Akkumulatoren, Sammlern). Sie sind, bedingt durch ihren komplizierteren inneren Aufbau und das meist erheblich größere Arbeitsvermögen, weit kostenaufwendiger und sollen als wiederladbare galvanische Elemente über einen längeren Zeitraum (1 bis 10 Jahre) genutzt werden.
Die ständige Pflege und Wartung des Akkumulators ist das einzige Mittel zur Erzielung einer hohen Lebensdauer. Sie beginnt bereits mit dem Erwerb. Denn vor der ersten Nutzung müssen die meisten Sammler mit Elektrolyt gefüllt und geladen werden (Inbetriebsetzungsladung). Selbst bei Nichtbenutzung des Sammlers (z. B. Fahrzeugakku im Winter) bedarf er auf Grund der Selbstentladung ständiger Pflege.

Fehlt die entsprechende Wartung oder führt man sie nur ungenügend bzw. unsachgemäß durch, so wird der Sammler langsam, aber sicher zerstört und seine Lebensdauer erheblich gemindert.

3.1. Allgemeine Grundlagen

In Abschnitt 1.3. wurden die grundsätzlichen Eigenschaften und Einsatzprinzipien von Akkumulatoren sowie einige Grundbegriffe, auf die wir uns bei den weiteren Betrachtungen stützen müssen, bereits beschrieben.
Die Sekundärelemente werden nach dem Elektrodenmaterial unterteilt. Die gebräuchlichsten Sammlertypen sind Bleiakkumulatoren, Nickel-Kadmium-Akkumulatoren und Silber-Zink-Akkumulatoren. Weniger gebräuchlich sind Nickel-Eisen- und Nickel-Zink-Akkumulatoren. Innerhalb dieser

Hauptgruppen wird nach Konstruktion und Verwendung unterteilt (z. B. Miniatursammler, gasdichte Sammler, Fahrzeugbatterien, ortsfeste Sammler usw.).
Wie Primärbatterien bestehen auch Akkumulatoren aus Zellen (Gefäßen), in denen sich der Elektrolyt und mindestens je 1 positive und 1 negative Elektrode (Platte) befinden. Für das Einfüllen und Erneuern des Elektrolyts ist bei Sammlern allerdings meist der Benutzer verantwortlich. Das Speichervermögen des Akkus hängt von der wirksamen Fläche der Elektrode ab. Aus diesem Grunde werden meist mehrere Platten zu einer Elektrode zusammengeschaltet. (Genaue Behandlungshinweise und Ladevorschriften s. bei den speziellen Sammlertypen.)

3.2. Der Bleiakkumulator

Der Bleiakkumulator ist das älteste, technisch verwendbare Sekundärelement. Bereits 1859 entdeckte der Franzose *Planté* seine grundsätzliche Wirkungsweise. Seit 1881 (Entdeckung der Großoberflächenplatte) hat sich der technische Aufbau des Bleisammlers kaum geändert. Trotzdem ist er noch heute dank seiner hervorragenden technischen Eigenschaften eine der gebräuchlichsten Sekundärstromquellen.

3.2.1. Chemische Vorgänge im Bleisammler

Die Elektroden des Bleisammlers bestehen je nach seinem Ladezustand aus folgenden Stoffen:

Ladezustand	positive Elektrode	negative Elektrode
entladen	Bleisulfat ($PbSO_4$)	Bleisulfat ($PbSO_4$)
geladen	Bleidioxid (PbO_2)	Blei (Pb)

Als Elektrolyt dient verdünnte Schwefelsäure (H_2SO_4).
Beim Laden des Bleiakkumulators vollziehen sich folgende chemische Vorgänge (s. Bild 14):
Die positiven Wasserstoffionen des Elektrolyts wandern zur negativen Elektrode und verbinden sich dort unter Zurücklassung elektrisch neutralen, reinen Bleis zu Schwefelsäure,

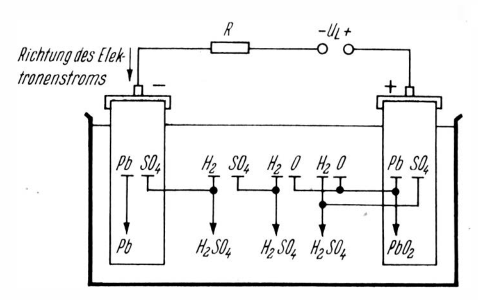


Bild 14 Chemische Vorgänge beim Laden des Bleisammlers

die wiederum in Lösung geht und die Konzentration des Elektrolyts erhöht.
Die negativen Sauerstoffionen des Elektrolyts wandern zur positiven Elektrode und verbinden sich dort mit den positiven Bleiionen des Bleisulfats zu Bleidioxid. Die frei werdenden SO_4-Ionen gehen in Lösung und verbinden sich mit den Wasserstoffionen ebenfalls zu Schwefelsäure.
Damit stehen sich im geladenen Zustand des Akkumulators 2 unterschiedliche Elektroden, Blei und Bleidioxid, gegenüber. Da diese beiden Stoffe verschiedene Positionen in der elektrochemischen Spannungsreihe einnehmen, ist mit der Ladung ein galvanisches Element entstanden.
Beim Entladen des Sammlers verlaufen die chemischen Vorgänge umgekehrt (s. Bild 15). Bei völliger Entladung stehen sich 2 Elektroden gleichen Materials (Bleisulfat) gegenüber. Außerdem nimmt bei der Entladung die Konzentration des Elektrolyts durch Bildung von Wassermolekülen ab.

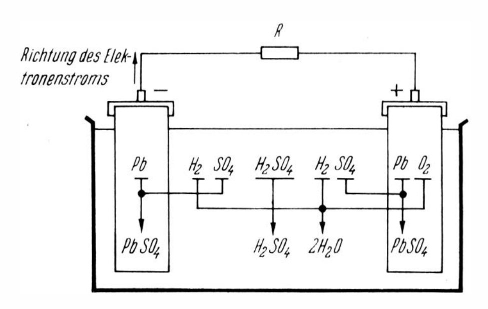


Bild 15 Chemische Vorgänge beim Entladen des Bleisammlers

Eine nicht reduzierbare, chemische Zersetzung der Elektroden oder des Elektrolyts wie Auflösen des Zinks beim Kohle-Zink-Element tritt dabei nicht auf. An die Entladung kann und muß sich die nächste Ladung anschließen. Theoretisch können Ladung und Entladung des Sammlers beliebig oft wiederholt werden. Praktisch ist seine Lebensdauer allerdings durch Herausfallen der aktiven Masse aus den Elektroden im Betrieb bzw. Verhärtung der aktiven Masse bei Nichtbenutzung auf einige Jahre begrenzt.

3.2.2. Konstruktiver Aufbau des Bleisammlers

Die Hauptbestandteile eines Bleisammlers sind das *Elektrolytgefäß*, die *Elektroden* und der *Elektrolyt*.
Das Gefäß des Bleisammlers besteht aus säurebeständigem Material. Bei ortsfesten Sammlern verwendet man meist Glasgefäße, bei transportablen Sammlern Hartgummi- oder Kunststoffgefäße. Das Elektrolytgefäß enthält die verdünnte Schwefelsäure und die darin eintauchenden Platten (Elektroden). Bleibatterien sind meist in einem gemeinsamen Blockgefäß mit mehreren Trennwänden für die Zellen untergebracht (z. B. Fahrzeugsammler).
Die Kapazität des Sammlers ist direkt durch die Oberflächengröße seiner Platten bestimmt. Durch die Oberflächenbeschaffenheit und die Größe der Platten versucht man, die Kapazität des Sammlers zu erhöhen. Die Platten bestehen aus Hartblei und sind rippenförmig (Großoberflächenplatte für stationäre Bleisammler) oder gitterförmig (Gitterplatte

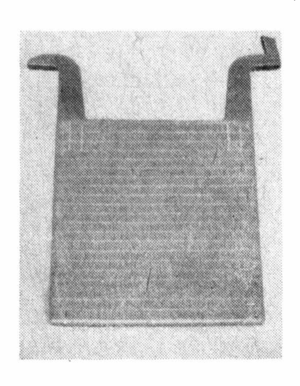


Bild 16
Großoberflächenplatte eines stationären Bleisammlers

für transportable Bleisammler) gegossen (s. Bild 16). In die Rippen bzw. Gitter wird die aktive Masse (Bleisulfatpaste) eingestrichen. Durch die Porösität der aktiven Masse und durch die Oberflächenbeschaffenheit der Platten wird ihre wirksame Oberfläche gegenüber einer einfachen, glatten Elektrode auf das 5- bis 10fache vergrößert.

Der Schaffung beliebig großer Platten zum Erreichen einer hohen Sammlerkapazität sind, besonders bei den empfindlichen positiven Gitterplatten für transportable Bleisammler, Grenzen gesetzt. Deshalb schaltet man an Stelle von 2 großen mehrere kleine Platten derart parallel, daß sich positive und negative Platten abwechseln.

In Bild 17 ist der konstruktive Aufbau einer Bleizelle dargestellt. Die Räume zwischen den Platten werden durch wellige, gelochte oder poröse, isolierende Platten oder auch Glasröhrchen (Scheider bzw. Separatoren) gesichert. Der Minuselektrodensatz hat eine Platte mehr als der Plussatz. Indem der Abschluß des Plattenpakets auf beiden Seiten durch negative Platten gebildet wird, verhindert man das Verziehen der empfindlichen Plusplatten infolge einseitiger Belastung. Die negativen Abschlußplatten füllt man nur auf der Innenseite mit aktiver Masse. Die Nasen der positiven Platten sind auf der einen Seite, die der negativen Platten auf der anderen an Bleileisten (Polbrücken) gelötet. Diese Polbrücken werden durch die Anschlußöffnungen in der Zellenabdeckung zu den Anschlußklemmen der Zelle geführt. In die Zellenabdeckung ist außerdem ein Einfüllstutzen zum

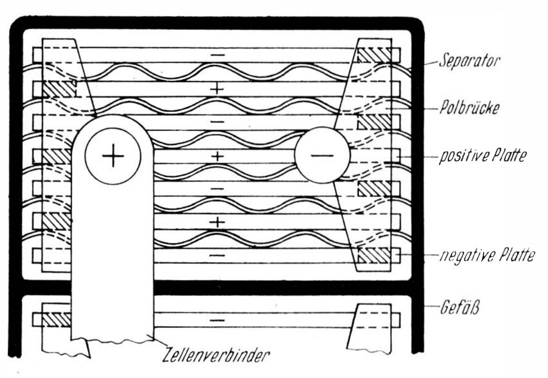


Bild 17 Konstruktiver Aufbau des Bleisammlers

Nachfüllen von Elektrolyt oder destilliertem Wasser eingelassen (durch einen Schraubverschluß gegen Auslaufen der Säure bei Erschütterung des Sammlers gesichert). Wegen der bei der Ladung auftretenden, teilweise starken Gasentwicklung hat dieser Schraubverschluß eine kleine Gasabzugsöffnung.

Die Plattenpakete hängen in den Gefäßen (ortsfeste Sammler) oder werden auf isolierende Stützen am Boden des Gefäßes gestellt (transportable Sammler). Auf diese Art entsteht unterhalb der Platten ein sogenannter Schlammraum, der einen inneren Kurzschluß des Sammlers durch den absinkenden Bleischwamm (herausgefallene aktive Masse) vermeidet.

Die Reihen- bzw. Parallelschaltung mit anderen Zellen der Batterie geschieht durch Zellenverbindung oberhalb der Zellendeckel. Die Anschlüsse der Batterie sind je nach Verwendung und Belastung ausgeführt. Bei Starterbatterien gibt es genormte konische Endpole, die dem Aufsetzen der Kabelanschlußstücke dienen und durch verschiedene Stärke des positiven und negativen Pols unverwechselbar sind. Bei Motorradbatterien reichen auf Grund der kleineren Stromstärke normale Anschlußklemmen.

3.2.3. Technische Daten des Bleisammlers

Bleisammler haben, unabhängig von den unterschiedlichen handelsüblichen Ausführungen, folgende allgemeingültige technische Daten:

Spannung je Zelle

Nennspannung	2 V
Lade-Anfangsspannung	2,04 V
Lade-Schlußspannung	2,78 V
Entlade-Anfangsspannung	2,20 V
Entlade-Schlußspannung	1,80 V

Die genannten Schlußspannungen sind verbindlich. Erreicht der Sammler bei der Ladung bzw. Entladung diesen Spannungswert je Zelle, so ist der entsprechende Vorgang sofort zu beenden! Die Entladespannungen werden bei angeschlossenem Lastwiderstand bzw. Verbraucher gemessen.

Wirkungsgrad (s. 1.3.3.)
Ah-Wirkungsgrad 0,9 bis 0,95 (theoretischer Wert)
Wh-Wirkungsgrad 0,7 bis 0,75 (theoretischer Wert)

Ladebedingungen (s. auch 3.2.5.)

Normalladung	15 h laden mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah (z. B. für einen 12-Ah-Sammler $I_L = 1{,}2$ A)
verstärkte Ladung	(wird bei Verhärtung der Platten durch Bleisulfatbildung durchgeführt) 15 h laden mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah, dann 15 min Ladepause, danach etwa 5 bis 10 h laden mit $I_L = 0{,}01$ A/Ah (bis lebhafte Gasentwicklung eintritt).
Inbetriebsetzungsladung	(nur zur Inbetriebsetzung fabrikneuer Sammler) Beginn der Ladung erst 3 bis 5 h nach Einfüllen der Säure; 20 bis 36 h laden mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah, bis alle Zellen lebhaft und gleichmäßig gasen, bis die Säuredichte den Wert für einen geladenen Sammler erreicht (Startbatterien 1,28 g/cm^3), bis die Spannung auf etwa 2,6 V/Zelle und innerhalb der letzten 3 Ladestunden nicht mehr gestiegen ist.

Entladebedingungen

normale Entladung: 10 h entladen mit $I_E = 0{,}1$ A/Ah
(bei der Normalentladung wird die Nennkapazität des Sammlers jedoch nicht erreicht, da diese sich auf eine 20stündige Entladung bezieht);
maximaler Entladestrom: 3 min entladen mit $I_E = 3{,}5$ A/Ah.

Sonstige Angaben

Lebensdauer (bei guter Pflege):

ortsfeste Sammler etwa 1000 Zyklen
transportable Sammler etwa 200 Zyklen
(das entspricht bei Startsammlern etwa 2 bis 4 Jahre)
gasdichte Bleiakkus (s. 3.3.) etwa 10 Zyklen

Selbstentladung

nach 4 Wochen etwa 40% der Nennkapazität
nach 8 Wochen etwa 52% der Nennkapazität
nach 52 Wochen 100% der Nennkapazität

Innenwiderstand

$$R_i \approx \frac{0{,}06}{\text{Zahl der Ah}} \text{ (in } \Omega)$$

(z. B. für Bleizelle 12 Ah: $R_i \approx 0{,}005\ \Omega$)
Kapazität/Volumen = 30 bis 60 Ah/dm^3
Kapazität/Gewicht = 15 bis 28 Ah/kp

Elektrolyt: verdünnte Schwefelsäure

Dichte (g/cm^3)	geladener Sammler	entladener Sammler
transportable Sammler (z. B. Start- und Kradbatterie)	1,28	1,20
ortsfeste Sammler	1,21	1,16

Verhalten der Kapazität bei unterschiedlichen Entladeströmen
Die Nennkapazität bezieht sich auf eine 20stündige Entladung (K_{20}; I_E = 0,05 A/Ah). Bei einem höheren Entladestrom verringert sich die Kapazität:

Entladestrom I_E (A/Ah)	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0
$\frac{\text{Kapazität} \cdot 100}{\text{Nennkapazität}}$	100%	88%	75%	68%	59%	46%

Temperaturverhalten der Kapazität
Die Nennkapazität bezieht sich auf Zimmertemperatur (20 °C). Die Kapazität verringert bzw. erhöht sich mit niedrigerer bzw. höherer Temperatur (pro 1 °C etwa 1% Kapazitätsänderung; unterhalb 0 °C — stärkere Abnahme).

3.2.4. Vorteile, Nachteile und Verwendung des Bleisammlers

Gegenüber anderen Sekundärelementen bietet der Bleisammler folgende Vorteile:

- Er hat mit einer Nennspannung von 2 V/Zelle die höchste Zellenspannung.
- Er ist kurzzeitig hoch belastbar und hat je Zelle einen sehr geringen Innenwiderstand.
- Er hat einen relativ hohen Wirkungsgrad.
- Er ist das preisgünstigste Sekundärelement je entnehmbarer Kapazität (1,— bis 2,— M/Ah).
- Durch den geringen Unterschied zwischen Nenn- und Ladespannung eignet er sich hervorragend für Pufferbetrieb.
- Sein Ladezustand ist auf Grund der Dichte des Elektrolyts und der Farbe der Elektroden relativ genau zu bestimmen.

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber:

— Er hat nur eine relativ geringe Lebensdauer.
— Er verlangt sorgfältige Pflege.
— Er ist empfindlich gegen mechanische Beanspruchung.
— Er hat eine sehr hohe Selbstentladung.
— Er ist relativ empfindlich gegen Überladung und zu tiefe Entladung.

Der Bleiakkumulator sollte natürlich dort eingesetzt werden, wo er am wirtschaftlichsten arbeitet, d. h., wo seine Vorteile voll zur Geltung kommen und seine Nachteile keine oder eine nur untergeordnete Bedeutung haben.
Ortsfeste Bleiakkus werden hauptsächlich zur Stromversorgung von Fernmeldeanlagen, zur Notstrom- und zur Zusatzversorgung (Pufferbetrieb) eingesetzt. Dabei schaltet man meist eine Anzahl von Einzelzellen zu großen Akkumulatorenbatterien zusammen. Die Einzelzellen ortsfester Batterien sind vielfach nicht vergossen, sondern werden durch Auflegen von Glasplatten gegen Verunreinigung des Elektrolyts geschützt. Dieser Zellenaufbau ermöglicht eine schnelle Pflege und Wartung sowie das Auswechseln verbrauchter Elektroden.
Von den transportablen Bleisammlern haben die *Fahrzeugsammler* wohl die größte Bedeutung für den Privatverbraucher. Aus der Gruppe der Fahrzeugsammler, die sich wiederum in Sammler zum Antreiben von Elektrofahrzeugen (von Gabelstaplern, Elektrokarren, Grubenloks usw.), zum Starten und

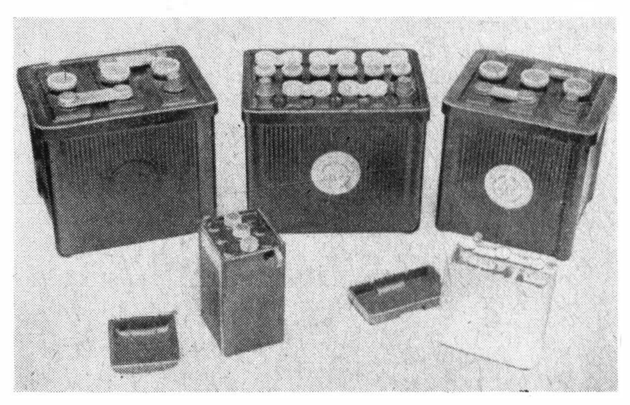


Bild 18 Verschiedene Fahrzeugbatterien (oben Starterbatterien, unten Motorradbatterien)

zur Beleuchtung von Fahrzeugen unterteilen, interessieren uns vorrangig die beiden letzten Arten, also Starter- und Motorradbatterien (s. Bild 18). Im Anhang befindet sich eine Aufstellung mit den wichtigsten Starter- und Motorradbatterien sowie Klein-Bleiakkumulatoren der Firma Quaiser, Dresden. Besondere Beachtung verdient ein gasdichter Bleiakku in Miniaturausführung, der vom VEB(K) Elektrotechnische Fabrik Sonneberg hergestellt wird. Dieser für viele elektronische Geräte des Amateurs verwendbare und sehr vorteilhafte Trockenakku *RZ 2* ist in Abschnitt 3.3. näher beschrieben.

3.2.5. Ladung, Entladung, Pflege und Wartung des Bleisammlers

Die nachfolgenden Behandlungshinweise sind speziell für Starter- und Motorradbatterien vorgesehen, gelten in der Regel aber auch für ortsfeste u. a. Bleiakkus.

Herstellung des Elektrolyts und Umgang mit Schwefelsäure
Als Elektrolyt wird chemisch reine, mit destilliertem Wasser verdünnte Akkumulatoren-Schwefelsäure verwendet.

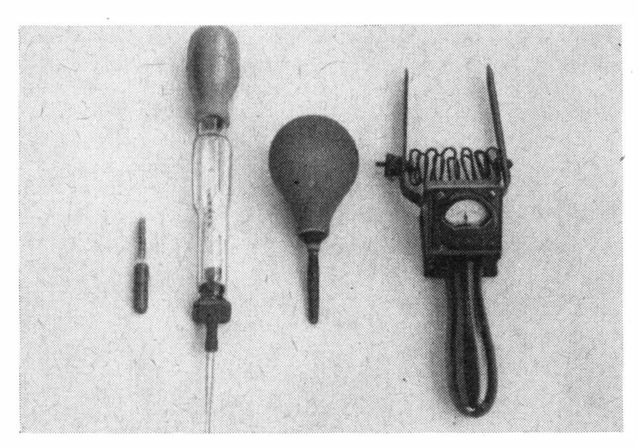


Bild 19 Verschiedene Werkzeuge zur Pflege des Bleisammlers (Aräometer, Pipette, Zellenprüfer)

Handelsübliche technisch reine Schwefelsäure enthält Bestandteile, die die Lebensdauer des Bleisammlers mindern.

Die Dichte der Säure wird mit einem Aräometer (s. Bild 19) gemessen. Ist nur Schwefelsäure in höherer Konzentration vorhanden, so muß die gewünschte Elektrolytdichte durch Verdünnung mit destilliertem Wasser hergestellt werden. Eine entsprechende Mischungstabelle befindet sich auf S. 64. An Stelle destillierten Wassers darf zur Not auch abgekochtes, sauberes Regen- oder Schneewasser (jedoch niemals Leitungswasser!) verwendet werden.

Es muß stets so verdünnt werden, daß die Schwefelsäure langsam in das Wasser gegossen wird! Läßt man umgekehrt Wasser in konzentrierte Schwefelsäure fließen, so kann es unter Umständen durch die frei werdende Energie zu explosionsartigem Verspritzen der Säure kommen.

Schwefelsäure, ob verdünnt oder konzentriert, ist äußerst gefährlich. Sie zerstört die meisten Metalle, Holz, Textilien und wirkt stark ätzend auf die Haut. Deshalb sollten beim Arbeiten mit Schwefelsäure stets Schutzbrille und Gummihandschuhe getragen werden. Kommen trotz größter Vorsicht Säurespritzer auf Haut oder Kleidung, so wird mit Sodalösung neutralisiert. Bei Spritzern in das Auge sofort mit viel Wasser ausspülen, mit Sodawasser nachwaschen und den Arzt aufsuchen!

Gefäße und anderes Gerät (Trichter, Meßgläser) zum Aufbewahren, Verdünnen und Einfüllen von Elektrolyt dürfen von Schwefelsäure nicht angegriffen werden. Elektrolyt und destilliertes Wasser müssen in möglichst gut verschließbaren, sauberen Glasgefäßen aufbewahrt werden, damit eine Verunreinigung des Elektrolyts vermieden wird.

Inbetriebsetzung fabrikneuer Sammler

Bleiakkumulatoren werden meist ungefüllt (ohne Elektrolyt), aber mit bereits formierten Elektroden gehandelt. Vom Hersteller sind die Entgasungsöffnungen der Schraubverschlüsse fast immer mit einer Preßhaut verschlossen, damit die formierten Platten nicht durch Witterungseinflüsse beschädigt werden. Diese Preßhaut muß man vor Inbetriebsetzung des Sammlers (aber erst dann!) durchstoßen.

Danach wird Elektrolyt der Dichte 1,28 g/cm³ eingefüllt (gilt nur für Starter- und Kradbatterien; bei anderen Typen Herstellerangaben beachten!). Der Elektrolyt soll 5 mm über

oberer Platten- bzw. Scheiderkante stehen. Bei manchen Batterien sind auch Säurestandmarken angegeben.
Nach der Füllung bleibt der Sammler ungefähr 5 h stehen, damit sich Platten und Scheider mit Elektrolyt vollsaugen können. Der gesunkene Säurespiegel wird noch vor der Erstladung durch Nachfüllen von Elektrolyt wieder auf die Normalhöhe gebracht. Der vorgeschriebene Säurespiegel ist genau einzuhalten. Während zuwenig Säure zur Schädigung der Elektroden führt, wird bei zu hohem Säurestand die Gefahr der Säureverspritzung sehr groß (Schäden an Fahrzeug, Kleidung usw.). Das eventuell erforderliche Absaugen von Elektrolyt kann mit einer Pipette erfolgen, die mittels Wulstrings auf den geforderten Säurespiegel eingestellt wird (s. Bild 19).
Sofort nach der zum Vollsaugen der Platten und Scheider benötigten Zeit ist die eigentliche Inbetriebsetzungsladung mit einer Stromstärke $I_L = 0{,}05$ A/Ah (z. B. für 56-Ah-Sammler $I_L = 0{,}05 \cdot 56$ A $= 2{,}8$ A) durchzuführen. Dieser Strom darf bei der Erstladung nicht überschritten werden. Dabei ist auf die richtige Polung des Ladegeräts (gleichnamige Pole von Sammler und Ladegerät werden verbunden) und auf die richtige Ladespannungsgröße ($U_L \geqq 2{,}7$ V/Zelle) zu achten. Während jeder Ladung sind die Füllverschlüsse zu entfernen.

Steigt die Säuretemperatur über + 50 °C, so muß man die Ladung unterbrechen, da sonst eine Verformung der Kunststoffseparatoren eintritt. Die Ladung darf in diesem Fall erst fortgesetzt werden, wenn die Temperatur auf + 30 °C abgefallen ist. Eine zu Beginn der Inbetriebsetzungsladung auftretende Schaumbildung hat keine besondere Bedeutung.
Die Inbetriebsetzungsdauer ist für die einzelnen Sammler unterschiedlich, liegt aber meist zwischen 20 h und 30 h (Beendigung der Ladung s. 3.2.3.). Nach der Ladung bringt man den Säurespiegel mit destilliertem Wasser wieder auf Normalhöhe und lädt zur Durchmischung nochmals 1 h mit alter Stromstärke.
Vorteilhaft ist es für die Batterie, wenn sich an diese Erstladung ein kompletter Zyklus anschließt:
— Entladung der Batterie mit $I_E = 0{,}1$ A/Ah bis $U_E = 1{,}8$ V/Zelle; danach 1 h Pause,
— Ladung der Batterie etwa 15 h mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah.

Merkmale für den Ladezustand des Bleisammlers
Bei der Ladung bzw. Entladung des Bleisammlers ändern sich, wie wir sahen, sowohl die chemische Zusammensetzung der

Elektroden als auch die Dichte des Elektrolyts. Damit weist sich der Ladezustand des Bleiakkus durch einige leicht erkennbare Merkmale aus:

Typ	Säure-dichte g/cm³	Plattenfarbe Plus-platte	Minus-platte	Entlade-spannung bei $I_E = 0{,}1$ A/Ah
geladener Sammler	1,28	schoko-braun	dunkel-grau	2,0 V/Zelle
entladener Sammler	1,20	hellbraun	hellgrau	1,8 V/Zelle

Die in der Tabelle angegebene Säuredichte gilt nur für Starter- und Kradbatterien (gemessen wird mit Aräometer). Die Zellenspannung unter Belastung kann sehr schnell mit einem handelsüblichen (s. dazu auch Bild 19) oder selbstgebastelten Zellenprüfer festgestellt werden.
Eine genaue Aussage über die im Sammler noch verfügbare Gesamtkapazität, wie sie nach gewissen Abständen der Sammlernutzung benötigt wird, ist mit diesen Prüfmethoden jedoch nicht möglich. Dafür benötigt man wie bei anderen Sekundärelementen eine genaue Kapazitätskontrolle.

Ladung des Bleisammlers
Bild 20 zeigt die Ladekurve für Normalladung ($I_L = 0{,}1$ A/Ah). Nach langsamem Anstieg bis 2,25 V gelangt die Zellenspannung schnell auf 2,6 V. Ab 2,4 V beginnt starke Gasentwicklung. Die Ladung ist zu beenden, wenn Säuredichte und Zellenspan-

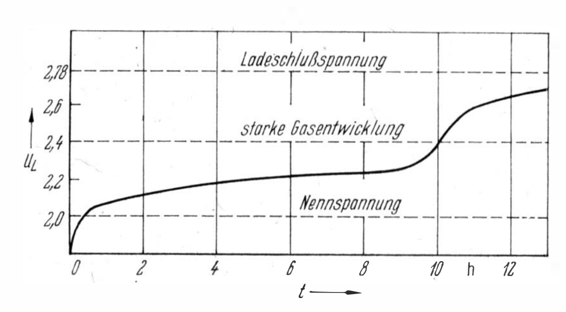


Bild 20 Ladecharakteristik des Bleisammlers

nung über längere Zeit nicht größer werden. Dieser Zustand tritt nach etwa 15 h ein.
Kleinerer Ladestrom kann bei entsprechender Verlängerung der Ladezeit verwendet werden. Höherer Ladestrom ist bis $I_L = 0{,}3$ A/Ah möglich, wenn mit Eintritt der Gasentwicklung ($U_L = 2{,}4$ V/Zelle) auf den Normalstrom zurückgeregelt wird. Kommen die einzelnen Zellen der Bleibatterie während der Ladung nicht gleichmäßig auf Spannung, so sind die zurückgebliebenen Zellen gesondert nachzuladen. Nach Beendigung der Ladung ist durch Nachfüllen destillierten Wassers der Säurespiegel auf Normalhöhe zu bringen. Die für die Dauer der Ladung entfernten Füllverschlüsse werden erst 1 h nach Beendigung gereinigt wieder eingeschraubt.

Entladung des Bleisammlers
Die charakteristischen Entladekurven für unterschiedliche Entladeströme (3-, 5- und 10stündige Entladung) sind in Bild 21 dargestellt. Der maximal zulässige Entladestrom von $I_E = 3{,}5$ A/Ah sichert eine hohe Belastbarkeit (Startfähigkeit). Die Entladung muß im Interesse einer hohen Lebensdauer des Sammlers unbedingt bei 1,8 V/Zelle beendet werden.

Wird der Sammler nur selten bis zur Entladeschlußspannung entladen oder zeitweise überhaupt nicht genutzt (z. B. Kfz.-Batterie), so sollte alle 6 bis 8 Wochen ein kompletter Zyklus (Ladung und Entladung) durchgeführt werden. Hierbei wird der Sammler mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah geladen und anschließend mit $I_E = 0{,}05$ A/Ah bis 1,8 V/Zelle entladen. Die Entladung

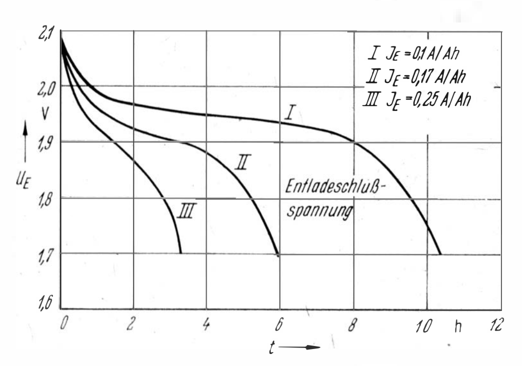


Bild 21 Entladekurven des Bleisammlers für 3-, 5- und 10stündige Entladung

kann gleichzeitig zur Kapazitätskontrolle genutzt werden, da der Sammler hierbei seine Nennkapazität erreichen muß. Anschließend bekommt der Sammler sofort wieder eine Normalladung. Dieser periodisch durchzuführende Zyklus erhöht durch verstärkte Formierung der Platten die Kapazität und damit auch die Lebensdauer des Sammlers.

Kurzregeln für die allgemeine Pflege des Bleisammlers

— Sammler äußerlich sauber- und trockenhalten, Metallteile mit Polfett leicht einfetten. Dabei dürfen Öl und Fett nicht mit der Vergußmasse der Zellenabdeckung in Berührung kommen.
— Kfz.-Batterien fest in das Fahrzeug einbauen. Kurzschluß unbedingt vermeiden (kein Werkzeug auf die Batterie legen).
— Säurespiegel alle 2 Wochen kontrollieren. Falls erforderlich, mit destilliertem Wasser nachfüllen. Schwefelsäure ist nur verdünnt in den Sammler zu gießen.
— Sammler nicht ungeladen stehenlassen (ergibt bleibende Kapazitätsminderung und im Winter Einfriergefahr). Bei Nichtgebrauch alle 6 bis 8 Wochen Zyklus durchführen (Die Kfz.-Batterie wird außerhalb des Fahrzeugs nachgeladen).
— Bei der Ladung entsteht Knallgas (Vorsicht mit offenem Feuer!).
— Bleisammler dürfen nie mit alkalischen Sammlern in einem Raum und mit dem gleichen Werkzeug gepflegt bzw. geladen werden.
— Günstig ist ein Batteriebuch für den Sammler, in dem wichtige Pflegearbeiten, Ladungen und Entladungen eingetragen werden.

Lagerung des Bleisammlers

Soll ein Bleisammler längere Zeit nicht genutzt werden, so ist wie folgt zu verfahren:

— Sammler laden, bis lebhafte Gasentwicklung einsetzt;
— Elektrolyt abgießen und destilliertes Wasser einfüllen;
— etwa 6 Stunden mit $I_L = 0{,}03$ A/Ah laden;
— Flüssigkeit wiederum abgießen und destilliertes Wasser einfüllen.

In diesem Zustand kann der Sammler bis 1 Jahr ohne Wartung gelagert werden. Die erneute Inbetriebnahme des Sammlers erfordert folgende Arbeiten:

- destilliertes Wasser abgießen und Elektrolyt der vorgeschriebenen Dichte (z. B. Kfz.-Batterie 1,28 g/cm^3) einfüllen;
- Sammler laden, bis lebhafte Gasentwicklung einsetzt.

3.2.6. „Krankheiten“ des Bleisammlers, ihre Vermeidung und Beseitigung

Überladung tritt auf, wenn ohne Aufsicht bzw. Kontrollmessungen oder mit falsch anzeigenden Meßinstrumenten geladen wird. Durch die starke Gasentwicklung werden Plusmasseteilchen von den Platten abgerissen, d. h., die Kapazität des Sammlers mindert sich bleibend. Im Schlammraum lagert sich verstärkt Bleischwamm ab. Bei entsprechender Höhe der Ablagerung kann innerer Kurzschluß auftreten.

Die Überladung wird durch kontinuierliche Kontrollen des Ladestroms, der Zellenspannung, der Gasentwicklung in den Zellen und der Elektrolytdichte vermieden. Die durch Überladung entstandene Schwächung der Plusplatten läßt sich nicht wieder beseitigen.
Die Bleischwammablagerungen am Zellenboden werden durch Elektrolytwechsel beseitigt:
- Sammler laden, bis lebhafte Gasentwicklung einsetzt;
- Elektrolyt abgießen;
- Spülungen mit destilliertem Wasser, bis das abgegossene Wasser klar ist;
- Einfüllen von Elektrolyt der vorgeschriebenen Dichte (z. B. Kfz.-Batterie 1,28 g/cm^3);
- Nachladen, bis erneut lebhafte Gasentwicklung einsetzt.

Umladung
Durch Anzapfen der Batterie bzw. durch zeitweiligen Kurzschluß, erhöhte Selbstentladung und Kapazitätsminderung einzelner Zellen der Batterie kann es vorkommen, daß diese Zellen im laufenden Betrieb unter die zulässige Entladeschlußspannung oder sogar bis 0 V entladen werden. Da der Entladestrom auch diese Zellen weiter durchfließt, tritt eine umgekehrte Ladung (Umladung) ein. Mit zunehmender Umladung entsteht in derartigen Zellen eine Gegenspannung, die der ursprünglichen Betriebsspannung entgegenwirkt und sie herabsetzt. Ebenso tritt natürlich bei falschem Anschluß des Ladegeräts an den Sammler eine Umladung auf.

Durch diese Erscheinung werden die normal arbeitenden Zellen übermäßig beansprucht und die umgepolten Zellen durch Ausschwemmen der aktiven Masse sowie durch Aufquellen der Plusplatten unbrauchbar. Die Umladung kann vermieden werden, indem man zu hohe Selbstentladung vermindert (s. unten) und indem man die Zellenspannung während der Entladung mißt. Die durch Umladung in den betreffenden Zellen aufgetretenen Störungen sind endgültig.

Tiefe Entladung
Bei jedem Unterbrechen der Entladung steigt die Sammlerspannung durch Konzentrationsausgleich des Elektrolyts wieder an. Unterbricht man die Entladung des Sammlers mehrfach, so wird seine Nennkapazität überschritten, d. h., die dem Sammler entnehmbare Elektrizitätsmenge ist größer, als zulässig. Die aktive Masse der Platten quillt auf (Gefahr der Kurzschlußbildung) und neigt besonders bei der nachfolgenden Ladung zur Ausschlammung. Zur Vermeidung dieser Erscheinung sollte man (besonders bei unregelmäßig genutzten Sammlern) schon vor Erreichen der Entladeschlußspannung die nächste Ladung durchführen. Ist trotzdem eine zu tiefe Entladung des Sammlers aufgetreten, so sollte die darauffolgende Ladung mit kleinerem Strom ($I_L = 0{,}02$ bis $0{,}05$ A/Ah) vorgenommen werden (Vermeidung starker Ausschlammung durch geringfügige Gasentwicklung).
Bei *Lagerung im ungeladenen Zustand* bildet sich an den Platten „hartes“ Bleisulfat, das durch den Ladevorgang nur schwer beseitigt werden kann. Dabei verwandelt sich nicht nur das bisher „weiche“ Bleisulfat der entladenen Platten, sondern mit jedem weiteren Tag der Lagerung kristallisiert sich weiteres Sulfat aus dem Elektrolyt aus, wobei dieser Vorgang durch Temperaturschwankungen zusätzlich gefördert wird. Das entspricht einer Selbstentladung des Sammlers. Die Sulfatierung bewirkt eine starke Kapazitätsminderung. Sie ist außerdem erkennbar an einer erhöhten Zellenspannung zu Beginn und an starker Erwärmung im Verlauf der Ladung. Bleiakkus dürfen deshalb nie im entladenen Zustand belassen werden. Lagerung ist nur in geladenem Zustand und in möglichst kühlen Räumen statthaft. Hartes Bleisulfat kann nur sehr schwer, manchmal überhaupt nicht beseitigt werden. Vorteilhaft ist die Durchführung einer verstärkten Ladung (s. 3.2.3.). Führt diese Behandlung nicht zum Erfolg, so ist eine Wasserladung ratsam, die wie folgt durchgeführt wird:

- Elektrolyt abgießen und destilliertes Wasser einfüllen;
- Ladung der Batterie mit 0,01 A/Ah, bis alle Zellen lebhaft gasen und die Dichte der Flüssigkeit während 3 h nicht mehr steigt (kann u. U. mehrere Tage dauern!);
- Flüssigkeit abgießen und sofort vorgeschriebenen Elektrolyt einfüllen;
- Nachladung mit 0,1 A/Ah etwa 2 h.

Das *Absinken des Elektrolytspiegels* wird vorrangig durch Gasentwicklung bei der Ladung und Verdunsten bei hoher Sammler- bzw. Umgebungstemperatur hervorgerufen. Da nur das im Elektrolyt enthaltene Wasser verdunstet, wird die Säurekonzentration größer (Auswirkung: leichtere Sulfatierung und höhere Selbstentladung). Zudem führt der gesunkene Säurestand zum Austrocknen und damit zur Unbrauchbarkeit der oberen Plattenfläche. Diese negativen Erscheinungen lassen sich vermeiden, indem man regelmäßig (besonders im Sommer) den Säurespiegel kontrolliert und mit destilliertem Wasser ergänzt.

Verunreinigung des Elektrolyts führt in jedem Fall zur Zerstörung der Elektroden. Vielfach ist das erkennbar an einer stürmischen Gasentwicklung auch nach Abschalten des Ladestroms (Verunreinigungen durch Silber, Kupfer, Nickel usw., die man deshalb als *Nachkochmetalle* bezeichnet).

Verunreinigungen des Elektrolyts werden vermieden durch
- Verwendung möglichst reiner Schwefelsäure (Akkusäure) und destillierten Wassers;
- strenge Sauberkeit in allen Räumen, in denen Sammler arbeiten bzw. geladen werden (Nichteindringen von Wasserdampf, Tropfwasser, Staub, Lötwasser, Metallstaub u. a.).

Einfrieren des Sammlers

Starter- und Kradbatterien sind durch zusätzlichen Stromverbrauch (Scheibenwischer, Licht, erschwertes Starten usw.) gerade im Winter einer höheren Belastung ausgesetzt. Der Strombedarf übersteigt teilweise sogar die Leistung der Lichtmaschine und erhöht sich auch bei Stillstand des Fahrzeugs.

In Bild 22 ist die Gefrierpunktkurve des Elektrolyts in Abhängigkeit von der Konzentration und vom Ladezustand der Kfz.-Batterie dargestellt. Wie sich zeigt, kann eine vollgeladene Starterbatterie in unseren Breitengraden nicht einfrieren. Gefährdet jedoch sind Batterien mit geringerer Säure-

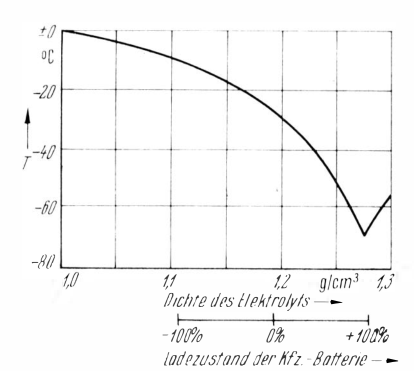


Bild 22
Gefrierpunktkurve für Akkusäure in Abhängigkeit von Elektrolytdichte und Ladezustand

dichte (entladener Zustand bzw. falsche Elektrolytdichte). Besondere Gefahr besteht bei zu tiefer Entladung (bis —100 %). Es ist deshalb ratsam, Bleiakkus gerade im Winter ständig im geladenen Zustand zu halten.
Bereits in der Nähe des Gefrierpunkts, also allgemein bei tiefen Temperaturen, ist die Kapazität des Bleisammlers durch Verlangsamung der chemischen Vorgänge stark gemindert. Man bezeichnet diese Erscheinung, die besonders die Startfähigkeit beeinträchtigt, auch als *Einfrieren der Kapazität*. Hierbei geht die Kapazität nicht wie bei der Selbstentladung verloren, sondern steht nach Erwärmung des Sammlers sofort wieder voll zur Verfügung. Die Selbstentladung ist im Winter sogar geringer.

3.3. Gasdichte Bleiakkus

Der VEB Elektrotechnische Fabrik Sonneberg stellt seit vielen Jahren gasdichte Bleiakkus her, die für den Amateur große Bedeutung haben. Diese in Bild 23 dargestellten Kleinstakkus nach TGL 3922 (alte Bezeichnung: Rulag-Akku, IKA-Kleinst-Akku, RZ 2, RZP 2) sind hinsichtlich ihrer Gebrauchseigenschaften noch von keinem anderen handelsüblichen Kleinelement übertroffen worden.
Gasdichte Bleiakkus werden in zwei Ausführungen (0,5 Ah und 0,25 Ah) gefertigt. Ihr Polyäthylen-Gehäuse schließt den Innenaufbau gasdicht ab und verhindert die Austrocknung des Elektrolyts (eingedickte Schwefelsäure).

Technische Daten:

Nennspannung	2 V	
Kapazität	0,5 Ah	0,25 Ah
Abmessungen	44 mm × 34 mm × 14 mm	36 mm × 28 mm × 10 mm
Masse	37 g	25 g
Nennentladestrom	50 mA	25 mA
Nennladestrom	20 mA	10 mA
maximaler Ladestrom	30 mA	20 mA
Lagerfähigkeit	6 Monate	
Lebensdauer	mindestens 10 Zyklen (entsprechend TGL nach 25 Zyklen noch 50% der Kapazität).	

Vorteile

Gasdichte Bleiakkumulatoren bieten gegenüber gleich großen Kohle-Zink-Elementen folgende Vorteile:

— höhere Zellenspannung (2 V),
— konstante Spannung fast bis zur völligen Entladung,
— hohe Belastbarkeit (bei $I_E = 0{,}5$ A/Ah noch 50% der Kapazität),
— 2- bis 3facher Dauerentladestrom entnehmbar,
— trotz höheren Entladestroms mindestens doppeltes Arbeitsvermögen,
— mehrmaliges Aufladen möglich,
— weitgehend temperaturunabhängig (bei — 30 °C noch 35% der Kapazität).

Verwendung

Gasdichte Bleiakkus werden als Stromquellen für Kleintaschenlampen, Batteriemagnetbandgeräte *(Bändi II)* u. a. eingesetzt. Dieser begrenzte Einsatz verwundert angesichts der zahlreichen Vorteile und des günstigen Preises. Der Amateur sollte dieses kleine, vielseitig verwendbare Element noch mehr nützen (für Transistorempfänger, tragbare Meßgeräte, Fernsteuermodelle u. a.).

Ladung

Die Ladung wird bis zur Zellenspannung 2,4 V, bzw. bis die einsetzende Gasung ein Aufblähen des Akkus verursacht, mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah (etwa 25 h) durchgeführt. Die Lebensdauer erhöht sich beträchtlich, wenn der Akku noch vor Erreichen der Entladeschlußspannung (1,8 V) neu geladen wird. Im Handel sind Ladegeräte des Herstellers zum An-

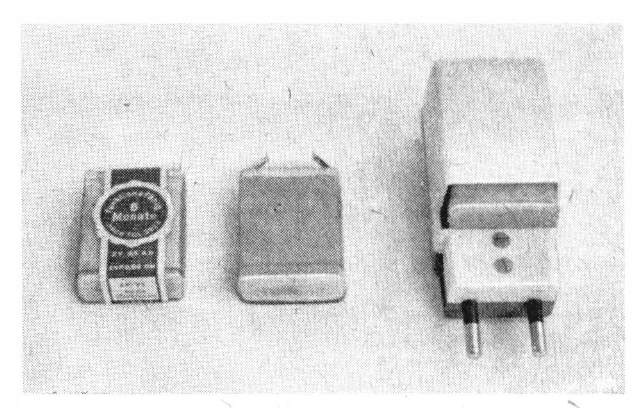


Bild 23 Gasdichter Bleiakku 2 V/0,5 Ah nebst Ladegerät

schluß an das Wechselstromnetz erhältlich, die mit beginnender Gasung automatisch die Ladung unterbrechen (s. Bild 23; unbedingt auf Polung des Akkus im Ladegerät achten!).

3.4. Der Nickel-Kadmium-Sammler

Der NK-Sammler geht auf Erfindungen von *Edison* (USA) und *Jungner* (Schweden) um die Jahrhundertwende zurück. Jedoch erst nach 1945 begann man mit weitgehenderer Herstellung und Anwendung. Dank seiner hohen Lebensdauer und Unempfindlichkeit gegenüber Erschütterungen und Überbelastung hat er sich inzwischen ein weitverzweigtes Anwendungsgebiet erobert. Gasdichte NK-Sammler basieren zwar im Prinzip auf der gleichen Arbeitsweise, haben aber andere technische und Gebrauchseigenschaften und werden darum in Abschnitt 3.5. gesondert behandelt.
Weniger häufig findet man den Nickel-Eisen-Sammler, der ähnliche Eigenschaften, jedoch eine kürzere Lebensdauer und geringere Leistungsfähigkeit aufweist.

3.4.1. Chemische Vorgänge im NK-Sammler

Die Elektroden des NK-Sammlers bestehen je nach Ladezustand aus folgenden Verbindungen:

Ladezustand	positive Elektrode	negative Elektrode
entladen	Nickelhydroxid Ni $(OH)_2$	Kadmiumhydroxid Cd $(OH)_2$
geladen	Nickelhydroxid Ni $(OH)_3$	Kadmium Cd

Als Elektrolyt verwendet man verdünnte Kalilauge (KOH). Die chemischen Vorgänge beim Laden und Entladen des NK-Sammlers sind noch nicht völlig bekannt. Eine Dichteveränderung des Elektrolyts (wie beim Bleisammler) tritt jedoch nicht auf, so daß die günstige Möglichkeit der Ladezustandsbestimmung wegfällt.

3.4.2. Konstruktiver Aufbau des NK-Sammlers

Das Schnittmodell eines NK-Sammlers ist in Bild 24 dargestellt. Es handelt sich um einen kleinen NK-Sammler aus der ČSSR-Produktion, der bereits ein Plastgehäuse aufweist. In der Regel besteht das NK-Sammlergefäß jedoch aus vernickeltem Stahlblech. Daher kommt auch die Bezeichnung Stahlsammler, die vielfach für den NK-Sammler gebraucht wird.

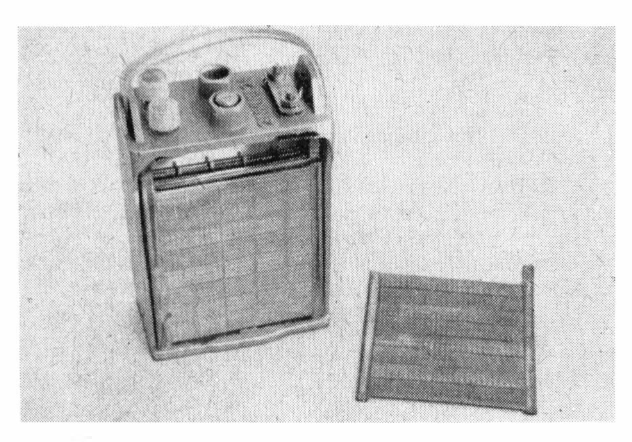


Bild 24 Schnittmodell eines NK-Sammlers

Die weitaus meisten NK-Sammler der DDR-Produktion arbeiten mit Taschenelektroden. Bei ihnen wird die aktive Masse in Form kleiner Briketts hergestellt, die in perforierte, vernickelte Stahlbänder gefalzt werden. Eine Elektrodenplatte besteht dann aus vielen dieser kleinen Taschen.
Die Bildung von Plattensätzen erfolgt wie beim Bleiakku. Der gesamte Elektrodensatz wird wiederum beidseitig durch unempfindlichere Minusplatten begrenzt. Zwischen den Platten befinden sich Röhrchen (oder perforierte Decelithfolie) als Separatoren.
Die Polbolzen müssen isoliert durch die Zellenabdeckung geführt werden, da sonst über das Stahlgehäuse Kurzschluß auftreten würde. In der Mitte der Zellenabdeckung, die mit dem Gehäuse fest verschweißt ist, befindet sich wiederum eine Öffnung zum Ein- bzw. Nachfüllen von Elektrolyt. Ein Füllverschluß mit laugebeständigem Dichtring (Gummi) dichtet die Zelle ab.
Die Zusammenstellung mehrerer Zellen zu Batterien wird meist durch Einbau der Einzelzellen in Zellenträger aus Holz vorgenommen. Die Reihenschaltung der Zellen geschieht durch Zellenverbinder (vernickelte Blechstreifen) von Polbolzen zu Polbolzen (s. Bild 25).

3.4.3. Technische Daten des NK-Sammlers

NK-Sammler haben, unabhängig von den unterschiedlichen handelsüblichen Ausführungen, folgende allgemeingültige technische Daten:

Spannung je Zelle
Nennspannung 1,2 V
Lade-Anfangsspannung 1,35 V; Lade-Schlußspannung 1,85 V; Entlade-Anfangsspannung 1,40 V; Entlade-Schlußspannung 1,00 V. Im Interesse einer hohen Lebensdauer des NK-Sammlers darf das Unterschreiten der Entladeschlußspannung nicht zur Gewohnheit werden.

Wirkungsgrad (s. 1.3.3.) Ah-Wirkungsgrad 0,72
Wh-Wirkungsgrad 0,55

Ladebedingungen (s. auch 3.4.5.)
Normalladung — 8 h laden mit $I_L = 0{,}2$ A/Ah
(z. B. für einen 45-Ah-Sammler $I_L = 9$ A)

Schnelladung — 2 h laden mit $I_L = 0{,}5$ A/Ah und anschließend 2,5 h laden mit $I_L = 0{,}2$ A/Ah
Diese Schnelladung ist nur bei zwingender Notwendigkeit durchzuführen, da der hohe Ladestrom die Lebensdauer des NK-Sammlers beeinträchtigt.

Ausgleichsladung — 16 h laden mit $I_L = 0{,}2$ A/Ah;
wird durchgeführt
- bei plötzlichem Nachlassen der Kapazität,
- wenn Zellen unter 1 V entladen wurden,
- nach jedem Elektrolytwechsel,
- alle 3 Monate (bei unregelmäßigem Betrieb monatlich).

Inbetriebsetzungsladung
(zur Inbetriebsetzung fabrikneuer NK-Sammler);
Beginn der Ladung erst 3 bis 5 h nach Einfüllen der Lauge: 16 h laden mit $I_L = 0{,}2$ A.

Entladebedingungen

normale Entladung — 5 h entladen mit $I_E = 0{,}2$ A/Ah (für diese Entladestromstärke gilt auch die Nennkapazität des Sammlers)

maximaler Entladestrom — 1 h entladen mit $I_E = 0{,}67$ A/Ah (wiederholte starke Entladungen schaden dem NK-Sammler!)

Sonstige Angaben

Lebensdauer (bei guter Pflege) — NK-Sammler mit Taschenelektroden etwa 2000 Zyklen

Selbstentladung — nach 4 Wochen 24 % der Nennkapazität
nach 8 Wochen 28 % der Nennkapazität
nach 52 Wochen 50 % der Nennkapazität

Innenwiderstand — $R_i \approx 0{,}2\ \Omega$/Ah
Kapazität/Volumen = 35 Ah/dm³
Kapazität/Gewicht = 20 Ah/kp.

Elektrolyt: verdünnte Kalilauge (KOH)

Verwendung	Dichte	Ätzkalimenge/l (H_2O)
Elektrolyt für Tropen	1,17 g/cm³	230 g/l
normaler Elektrolyt	1,20 g/cm³	300 g/l
Winterelektrolyt	1,27 g/cm³	400 g/l

Verhalten der Kapazität bei unterschiedlichen Entladeströmen
Die Nennkapazität bezieht sich auf eine 5stündige Entladung (K_5; $I_E = 0{,}2$ A/Ah). Bei höheren Entladeströmen verringert sich die Kapazität:

Entladestrom I_E (A/Ah)	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
$\frac{\text{Kapazität} \cdot 100}{\text{Nennkapazität}}$	105 %	100 %	99 %	97 %	95 %	90 %

Temperaturverhalten der Kapazität
Die Nennkapazität bezieht sich auf Zimmertemperatur (+ 20 °C). Bei jeder Abweichung von dieser Temperatur verringert sich die Kapazität des NK-Sammlers:

Betriebs-temperatur	−50 °C	−40 °C	−30 °C	+20 °C	+45 °C
$\frac{\text{Kapazität} \cdot 100}{\text{Nennkapazität}}$	0 %	30 %	50 %	100 %	50 %

3.4.4. Vorteile, Nachteile und Verwendung des NK-Sammlers

Gegenüber anderen Sekundärelementen bietet der NK-Sammler folgende Vorteile:
- Er ist durch seine robuste Konstruktion relativ unempfindlich gegen mechanische Beanspruchung (Erschütterung, Druck, Stoß).
- Seine Pflege erfordert nur geringe Kenntnisse und Zeit.
- Er hat mit etwa 2000 Zyklen die höchste Lebensdauer.
- Überladung, Überbelastung und zu tiefe Entladung schaden ihm nur wenig.
- Seine Selbstentladung ist minimal, und er kann (fast unbegrenzte Zeit) in jedem Ladezustand gelagert werden.

Dem stehen folgende Nachteile des NK-Sammlers gegenüber:
- Er ist teurer als der Bleiakku. Der höhere Anschaffungspreis wird jedoch durch geringere Wartungskosten und höhere Lebensdauer bei weitem ausgeglichen.
- Er hat mit 1,2 V die geringste Zellenspannung. Bei der Zusammenstellung von Batterien sind also mehr Einzel-

zellen als bei jedem anderen galvanischen Element erforderlich.
— Er kann, bedingt durch seinen relativ hohen Innenwiderstand, nicht als Startsammler verwendet werden.
— Er benötigt das größte Volumen pro Kapazität. Dieser Nachteil wird aber durch sein geringes Gewicht weitgehend ausgeglichen.

Der NK-Sammler ist vor allem dort am Platze, wo mit mangelnder Pflege, unregelmäßigem Betrieb und starken Erschütterungen gerechnet werden muß. So sind NK-Sammler z. B. bei Schräglagen bis 22,5° dauernd und bis 45° zeitweise betriebsfähig. Dank dieser Anspruchslosigkeit des NK-Sammlers und seiner zahlreichen anderen Vorteile hat er sich ein großes Anwendungsgebiet erobert. Er wird zur Notstromversorgung, als Stromquelle für Nachrichtengeräte, für Alarm- und Klingelanlagen, für Meßgeräte, für tragbare Leuchten der unterschiedlichsten Zweckbestimmung (z. B. Grubenlampen) und viele andere Geräte eingesetzt. Bild 25 zeigt 2 NK-Batterien. NK-Sammler mit Nennkapazitäten unter 4 Ah werden heute nur noch in gasdichter Ausführung (s. 3.5.) gefertigt. Die für den Amateur interessanten NK-Sammlertypen der DDR-Produk-

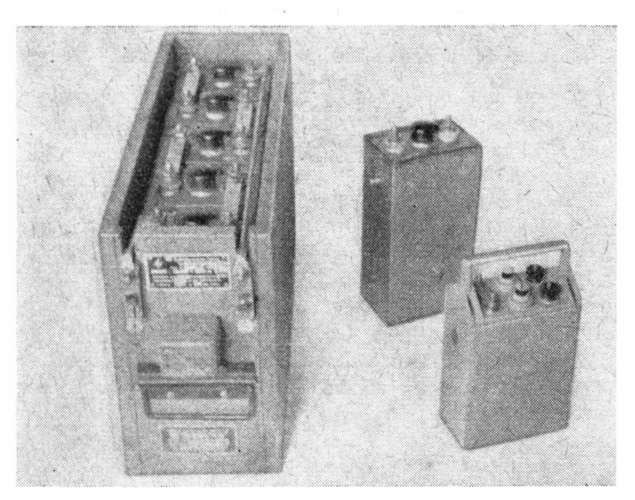


Bild 25 Gebräuchliche NK-Sammler (von links nach rechts: 2,4 V/24 Ah, 1,2 V/70 Ah, 6 V/70 Ah)

tion von 4 Ah bis 70 Ah sind im Anhang tabellarisch zusammengestellt.
Die NK-Kradbatterie 6 V/8 Ah (für RT 125, ES 250 und 350, *Berlin*) liegt im Anschaffungspreis bedeutend höher als die entsprechende Bleibatterie. Dafür hat sie eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer und benötigt kaum Pflege. Bereits nach etwa 3 Jahren, wenn die gleichartige Bleibatterie erneuert werden müßte, hat sie sich amortisiert. Kennzeichnung von NK-Sammlern der DDR-Produktion z. B.: 12 NK 70 — 12-V-NK-Batterie (10 Zellen) mit der Nennkapazität 70 Ah.

3.4.5. Ladung, Entladung, Pflege und Wartung des NK-Sammlers

Trotz weitgehender Unempfindlichkeit des NK-Sammlers gegenüber falscher Behandlung sollten die nachfolgenden Hinweise im Interesse einer hohen Lebensdauer beachtet werden:

Herstellung des Elektrolyts und Umgang mit Kalilauge
Als Elektrolyt für den NK-Sammler wird chemisch reine Kalilauge ($KOH + H_2O$) verwendet. Meist ist Kalilauge mit der Dichte 1,18 bis 1,21 g/cm^3 für NK-Sammler bereits im Handel erhältlich. Durch Auflösen reinen Ätzkalis in destilliertem Wasser kann der Elektrolyt notfalls auch selbst hergestellt werden (Mischungstabelle s. S. 64). Vorsicht, bei der Auflösung von Ätzkali wird viel Energie frei, so daß die Lösung unter Umständen zum Kochen kommt und aus dem Gefäß spritzt! Kalilauge ist eine stark ätzende Flüssigkeit. Sie zerstört Haut, Textilien sowie zahlreiche unedle Metalle (Zinn, Zink, Aluminium u. a.).
Beim Arbeiten mit Kalilauge soll man deshalb stets Schutzbrille und Gummihandschuhe tragen! Ist trotzdem Lauge auf Haut oder Kleidung gekommen, so wird mit viel Wasser gewaschen und anschließend mit Essig neutralisiert. *Besonders gefährlich sind Laugenspritzer in die Augen!* Wäscht man in einem solchen Fall nicht sofort mit Wasser aus und behandelt mit Borwasser nach und sucht der Betroffene nicht anschließend sofort den Arzt auf, dann kann Erblindung die Folge sein!
Für die Aufbewahrung von Kalilauge eignen sich nur luftdicht verschließbare Glasgefäße. Unter ständiger Lufteinwirkung karbonisiert die Kalilauge, d. h., es bildet sich durch Zuführung von Kohlendioxid Kaliumkarbonat. Karbonisierter

Elektrolyt vermindert die Kapazität des NK-Sammlers und darf darum nicht verwendet werden. Die vom Hersteller angegebene Laugedichte (1,18 bis 1,21 g/cm³) ist unbedingt einzuhalten. Lediglich bei extremen Betriebstemperaturen empfehlen sich folgende Änderungen:

- Bei Temperaturen unter —20 °C ist Kalilauge der Dichte 1,26 bis 1,28 g/cm³ zu verwenden.
- Bei Temperaturen über +35 °C ist Kalilauge der Dichte 1,13 bis 1,15 g/cm³ mit einem Zusatz von 8 g LiOH/l zu verwenden.

Inbetriebsetzung fabrikneuer NK-Sammler

NK-Sammler werden vielfach bereits mit Elektrolytfüllung gehandelt. Das Inbetriebsetzen solcher Sammler beschränkt sich auf das Säubern von Verpackungsresten, die Kontrolle des Laugestands (gegebenenfalls mit Lauge der Dichte 1,18 bis 1,21 g/cm³ nachfüllen) und eine Normalladung vor der ersten Nutzung (8 h laden mit I_L = 0,2 A/Ah).
Ungefüllt gelieferte Sammler werden mit der vorgeschriebenen Kalilauge bis etwa 5 bis 10 mm über Plattenoberkante gefüllt. Die Batterie bleibt mit geschlossenen Füllverschlüssen etwa 5 h stehen, damit sich die Elektroden vollsaugen können. Danach ist nochmals der Laugestand zu kontrollieren und bei Notwendigkeit zu ergänzen. Die Erstladung geschieht mit dem

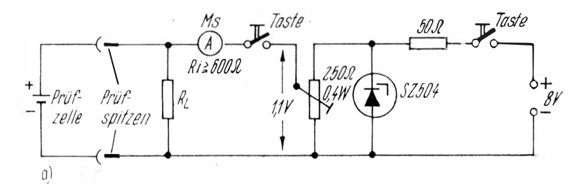


Bild 26
NK-Zellenprüfer;
a — Schaltung des NK-Zellenprüfers,
b — Skala des Meßinstruments

Nennladestrom über die doppelte Ladezeit (16 h laden mit $I_L = 0{,}2$ A/Ah).

Feststellung des Ladezustands von NK-Sammlern
Elektrolytkonzentration und Plattenfarbe ändern sich beim NK-Sammler nicht, die Entladespannung nur in geringem Maße; deshalb versagen die beim Bleisammler verwendeten Methoden der Ladezustandskontrolle. Eine relativ günstige Methode — die Schaltung eines Zellenprüfers für NK-Sammler — ist in Bild 26a dargestellt. Durch eine stabilisierte Gegenspannung von 1,1 V wird am Meßinstrument nur die Differenz zwischen augenblicklicher Zellenspannung und angenäherter Entladeschlußspannung gemessen. Damit steigt die Ablesegenauigkeit am Meßinstrument, das nunmehr auf einen Vollausschlag von 0,2 V dimensioniert werden kann, erheblich (s. Bild 26b).
Der Lastwiderstand R_L wird für den Nennentladestrom der zu prüfenden NK-Zelle ($I_E = 0{,}2$ A/Ah) berechnet:

$$R_L = \frac{E}{I_E \cdot \text{Kapazität der Zelle}} = \frac{6}{\text{Kapazität}} \text{ in } \Omega,$$

z. B.: für 12-Ah-Sammler $R_L = 0{,}5$ (herstellbar aus Widerstandsdraht).
Das Meßinstrument muß zum Vermeiden von Meßfehlern einen möglichst hohen Innenwiderstand ($\triangleq$ 3 kΩ/V) aufweisen. Als Spannungsquelle zur Erzeugung der Gegenspannung kann man 2 Flachbatterien BDT 4,5, 4 gasdichte Bleiakkus nach TGL 3922 oder auch 1 kleinen Netzteil verwenden. Die konstruktive Ausführung ist ähnlich der des Zellenprüfers für Bleisammler (s. Bild 19). Durch auswechselbare Lastwiderstände können die unterschiedlichsten NK-Zellen (auch gasdichte) überprüft werden. Die Taste wird erst gedrückt, wenn die Prüfspitzen festen Kontakt mit den Polen der zu prüfenden Zelle haben. Als Richtwerte für den Ladezustand der Zelle (Nennkapazität = 100%) je nach Meßergebnis gelten:

Zellenspannung	Ladezustand
1,30 V	90 bis 100%
1,25 V	40 bis 60%
1,20 V	20 bis 30%
1,15 V	8 bis 12%
1,10 V	3 bis 5%

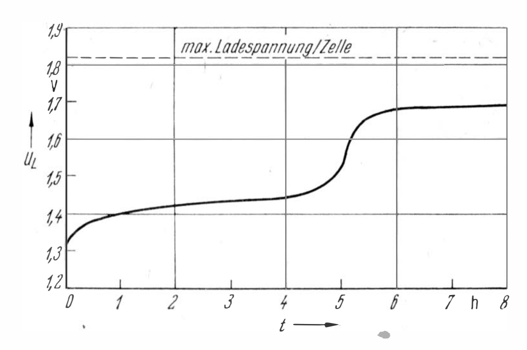


Bild 27 Ladekurve des NK-Sammlers

Ladung des NK-Sammlers

In Bild 27 ist die Ladekurve für Normalladung (I_L = 0,2 A/Ah) dargestellt. Nach langsamem Anstieg bis 1,45 V erhöht sich die Zellenspannung schnell bis 1,7 V. Im Gegensatz zum Bleisammler ist Gasentwicklung kein Anzeichen für die Beendigung der Ladung. Auch während der Ladung bleiben die Füllverschlüsse eingeschraubt, um das Karbonisieren der Kalilauge zu verhindern. Ständige Pflege der Füllverschlüsse vermeidet das Aufbauchen der Zellen während der Ladung (siehe) *Pflege des NK-Sammlers*, S. 71).

Der Ladestrom I_L = 0,2 A/Ah darf im Interesse einer langen Lebensdauer des NK-Sammlers nicht überschritten werden. Nur in Ausnahmefällen ist die in Abschnitt 3.4.3. angegebene Schnelladung statthaft. Demgegenüber wirkt sich eine Ladung mit geringerer Stromstärke bei entsprechender Verlängerung der Ladezeit (z. B. 16 h laden mit I_L = 0,1 A/Ah) vorteilhaft auf die Lebensdauer des NK-Sammlers aus. Auch Unterbrechungen der Ladung schaden bei Einhaltung der Gesamtladezeit nicht.

Im Interesse einer hohen Lebensdauer des Sammlers sind in periodischen Zeitabständen (sowie zu den in Abschnitt 3.4.3. genannten Anlässen) Ausgleichsladungen mit dem Nennladestrom über die doppelte Ladezeit vorzunehmen. Steigt im Verlauf der Ausgleichsladung die Elektrolyttemperatur auf + 35 °C, so muß die Ladung bis zur Abkühlung des Elektrolyts unterbrochen werden. Hohe Elektrolyttemperaturen mindern die Kapazität des NK-Sammlers bleibend.

Entladung des NK-Sammlers
Die charakteristischen Entladekurven für unterschiedliche Entladeströme (3-, 5- und 10stündige Entladung) sind in Bild 28 dargestellt. Entladen wird in der Regel mit dem Nennentladestrom $I_E = 0{,}2$ A/Ah. Höherer Entladestrom kann bis $I_E = 0{,}67$ A/Ah verwendet werden, mindert jedoch auf die Dauer die Kapazität des Sammlers. Geringerer Entladestrom ist in jedem Fall unschädlich. Je nach Entladestrom sollte die Entladung bei folgenden Zellenspannungen beendet werden:

Entladestrom	Entladeschlußspannung
0,1 A/Ah	1,1 V/Zelle
0,2 A/Ah	1,0 V/Zelle
0,3 A/Ah	0,8 V/Zelle
0,67 A/Ah	0,5 V/Zelle

Bei ständiger Entladung unter 1,0 V/Zelle tritt bleibende Kapazitätsminderung ein.

Kurzregeln für die allgemeine Pflege des NK-Sammlers
— Sammler äußerlich sauber- und trockenhalten;
— Kaliumkarbonatkruste an Zellendeckel, Polbolzen, Zellenverbinder und vor allem am Füllverschluß mit warmem Wasser abwaschen;
— harte bzw. rissige Dichtungsringe und Ventilgummis für Füllverschlüsse rechtzeitig erneuern;

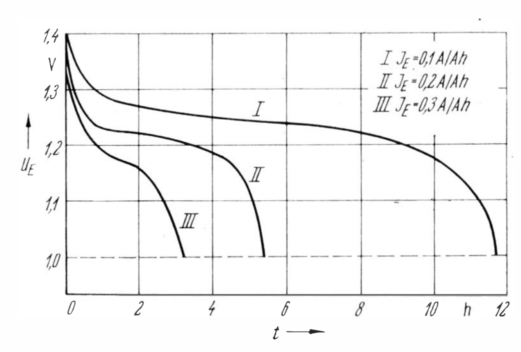


Bild 28 Entladekurven des NK-Sammlers für 3-, 5- und 10stündige Entladung

- nach jeder Reinigung Sammler trocknen lassen und mit säurefreiem Fett leicht einfetten;
- Öl bzw. Fett dürfen nicht in das Elektrolytgefäß gelangen (Folge: Kapazitätsminderung und starkes Schäumen des Elektrolyts beim Laden);
- laufend Laugestand der Zellen kontrollieren und mit destilliertem Wasser ergänzen;
- ist die Dichte des Elektrolyts kleiner als 1,20 g/cm³, so muß ein Laugewechsel vorgenommen werden (s. unten);
- bei der Ladung entsteht Knallgas; Vorsicht mit offenem Feuer!
- Werkzeuge und Behälter, die zur Pflege von Bleibatterien benutzt wurden, keinesfalls für NK-Sammler verwenden!
- Blei- und NK-Sammler nicht in demselben Raum pflegen bzw. laden;
- Kalilauge stets luftdicht verschlossen aufbewahren.

Laugewechsel

Der Elektrolyt ist auszuwechseln
- mindestens alle 18 Monate;
- wenn die Elektrolytdichte unter 1,18 g/cm³ gesunken ist;
- bei jedem durch Karbonisation der Lauge bedingten Kapazitätsrückgang;
- wenn der Betrieb des Sammlers unter extremen Temperaturbedingungen eine andere Laugekonzentration erfordert (s. 3.4.3.).

Vor dem Laugewechsel sind die Zellen zu entladen. Danach werden sie (bei noch eingeschraubtem Füllverschluß) kräftig geschüttelt, damit der Schmutz sich löst und beim sofort darauffolgenden Abgießen des alten Elektrolyts mit entfernt wird (Vorsicht bei Laugespritzern! Schutzbrille aufsetzen!). Anschließend wird die Zelle mit destilliertem Wasser gründlich ausgespült. Nach vollständiger Entleerung ist sofort wieder Kalilauge der vorgeschriebenen Dichte einzufüllen und der Füllverschluß einzuschrauben. Jedem Laugewechsel schließt sich eine Ausgleichsladung an.

Bei vorher stark verschlammten Zellen bzw. bei durch zu geringem Elektrolytstand ausgetrockneten oberen Plattenflächen empfiehlt es sich, das destillierte Wasser etwa 24 h in der Zelle stehenzulassen. In diesem Fall muß nach Abgießen des Wassers Elektrolyt der Dichte 1,23 bis 1,24 g/cm³ eingefüllt werden, weil das in den Platten enthaltene Wasser nachträglich die Elektrolytkonzentration verringert.

Lagerung von NK-Sammlern
NK-Sammler können in jedem Ladezustand zeitlich unbegrenzt, ohne Schaden zu nehmen, gelagert werden. Vor der Abstellung sind jedoch die obengenannten Pflegemaßnahmen durchzuführen. Vor der erneuten Inbetriebnahme sollte man eine Ausgleichsladung vornehmen.

3.4.6. „Krankheiten“ des NK-Sammlers, ihre Vermeidung und Beseitigung

Der NK-Sammler ist bedeutend unempfindlicher gegen Behandlungsfehler als der Bleisammler. Überladung, zu tiefe Entladung und Lagerung haben kaum Auswirkungen auf die Lebensdauer.
Karbonisation des Elektrolyts entsteht durch Lufteinwirkung und macht sich durch starken Kapazitätsrückgang bemerkbar. Ursachen sind undichte Zellenverschlüsse, Einfüllen bereits karbonisierter Kalilauge oder Nichtdurchführung des periodischen Laugewechsels. Ein Laugewechsel und Überprüfung der Zellenverschlüsse schaffen meist Abhilfe.
Sonstige Verunreinigung des Elektrolyts kann nur durch Verwendung chemisch unreinen Elektrolyts, Betrieb der Zellen mit herausgeschraubten Füllverschlüssen oder Eindringen von chemisch unreinem Wasser, Öl bzw. Fett, durch unvorsichtige Pflege auftreten. Solche Verunreinigungen lassen sich erkennen am Kapazitätsrückgang sowie am starken Gasen und am Schäumen des Elektrolyts beim Laden. Auch hier muß sofort Laugenwechsel durchgeführt werden.
Niedriger Elektrolytspiegel kann durch defektes Zellengefäß oder mangelnde Kontrolle nach Ladungen auftreten. Bereits stark ausgetrocknete Platten sind bei einem Laugewechsel 24 h in destilliertem Wasser zu belassen, ehe neuer Elektrolyt eingefüllt wird.
Aufbauchen der Zellen während der Ladung tritt auf, wenn durch mangelnde Pflege die Ventilwirkung der Füllverschlüsse verlorengegangen ist.

3.4.7. Regeneration von NK-Sammlern

Bei alterungsbedingtem Kapazitätsrückgang kann durch Verwendung anderen Elektrolyts die Lebensdauer des NK-Sammlers beträchtlich gesteigert werden. Kalilauge der Dichte

1,22 g/cm³ mit einer Zugabe von 60 g LiOH (Lithiummonohydrat)/l wird nach Reinigung der gealterten Zellen eingefüllt. Bei diesem Elektrolyt müssen die Zellen etwa 25% länger geladen werden, um auf ihre volle Kapazität zu kommen. Selbst Zellen mit einer Restkapazität von 40% können auf diese Weise 70 bis 80% der Nennkapazität erreichen. Der Spezialelektrolyt verbleibt etwa 1 Jahr in der Zelle, bevor wiederum normaler Elektrolyt eingefüllt wird.

3.5. Gasdichte Nickel-Kadmium-Akkumulatoren

Mit der Entwicklung gasdichter NK-Akkus kompensierten die Hersteller in den vergangenen Jahren erfolgreich die größten Nachteile der bisher behandelten herkömmlichen Sekundärelemente:

- aufwendige Pflege- und Wartungsarbeiten,
- Gefährdung von Mensch und Technik durch äußerst aggressive Lösungen und Gase,
- Lage- und Erschütterungsempfindlichkeit,
- geringe mechanische Festigkeit.

Der gasdichte NK-Akku entspricht in Arbeitsweise und Ausführung dem üblichen offenen NK-Akku. Das Neue besteht darin, daß die gasdichte Zelle ein in sich abgeschlossenes System ist, aus welchem bei normaler Behandlung weder Gas noch Elektrolyt austreten können. Der sich beim Laden und Umpolen entwickelnde Sauerstoff läßt sich durch Kadmium oder einen anderen Stoff bis zu einem bestimmten Grad binden; die Bildung von Wasserstoff wird vermieden. Die gesamte Gasentwicklung im Innern der Zelle wird durch kleinen Ladestrom in absorbierbaren Grenzen gehalten.
Durch den hermetischen Abschluß des Zellengefäßes läßt sich der gasdichte NK-Akku in jeder Lage als Stromquelle in elektrische Geräte fest einbauen. Ausfließen des Elektrolyts und Entstehen elektrolythaltiger Gase ist nicht mehr möglich. Nachfüllen und Wechseln des Elektrolyts entfallen völlig. Die Wartung der Zellen beschränkt sich auf den Ladevorgang und auf gelegentliche Säuberung der Kontaktstellen.

3.5.1. Technische Daten des gasdichten NK-Akkus

Gasdichte NK-Akkus haben, unabhängig von den unterschiedlichen handelsüblichen Ausführungen, folgende allgemeingültige technische Daten:

Spannung je Zelle
Nennspannung 1,2 V
Lade-Anfangsspannung 1,3 V
Lade-Schlußspannung 1,55 V
Entlade-Anfangsspannung 1,35 V
Entlade-Schlußspannung 1,10 V.
Die genannten Schlußspannungen, besonders die Entladeschlußspannung, sind unbedingt einzuhalten!

Ladevorschrift (s. auch 3.5.3.)
Normalladung — 14 h laden mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah, (z. B. für einen 2-Ah-Sammler $I_L = 200$ mA).
Jedes Überschreiten dieses Stromes und jede Verlängerung der Ladezeit kann zum Aufbauchen bzw. zur Explosion des Akkus führen und ist deshalb unzulässig.

Entladevorschrift
Normalentladung — 10 h entladen mit $I_E = 0{,}1$ A/Ah.
Für diese Entladestromstärke gilt auch die Nennkapazität des Akkus. Höhere Entladeströme sind, außer bei der hochbelastbaren NK-Knopfzelle, möglichst zu vermeiden.

Sonstige Angaben
Lebensdauer (bei Einhaltung obiger Vorschriften)
etwa 200 Zyklen
Selbstentladung nach 4 Wochen 28% der Nennkapazität
nach 8 Wochen 34% der Nennkapazität
nach 52 Wochen 70% der Nennkapazität
Innenwiderstand $R_i \approx 0{,}3\ \Omega$/Ah
Kapazität/Volumen = 45 Ah/dm³
Kapazität/Gewicht = 15 Ah/kp

Verhalten der Kapazität bei unterschiedlichen Entladeströmen
Die Nennkapazität bezieht sich auf eine 10stündige Entladung (K_{10}; $I_E = 0{,}1$ A/Ah). Bei höheren Entladeströmen verringert sich die Kapazität:

Entladestrom I_E (A/Ah)	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{\text{Kapazität} \cdot 100}{\text{Nennkapazität}}$	110%	100%	90%	84%	78%	70%

Temperaturverhalten der Kapazität
Die Nennkapazität bezieht sich auf Zimmertemperatur (+ 20 °C). Bei jeder Abweichung von dieser Temperatur verringert sich die Kapazität des gasdichten NK-Akkus.

Betriebstemperatur	− 20 °C	− 10 °C	+ 20 °C	+ 30 °C	+ 45 °C
$\frac{\text{Kapazität} \cdot 100}{\text{Nennkapazität}}$	50 %	750 %	100 %	90 %	70 %

3.5.2. Vorteile, Nachteile und Verwendung des gasdichten NK-Akkus

Gegenüber dem offenen NK-Akku bietet der gasdichte folgende Vorteile:
— Elektrolyt und schädliche Dämpfe gelangen beim üblichen Betrieb nicht aus der Zelle.
— Er läßt sich in jeder Lage fest in Geräte oder hermetisch verschließbare Batteriebehälter einbauen.
— Er hat eine sehr hohe mechanische Festigkeit.
Dem stehen z. Z. noch folgende Nachteile des gasdichten NK-Akkus gegenüber:

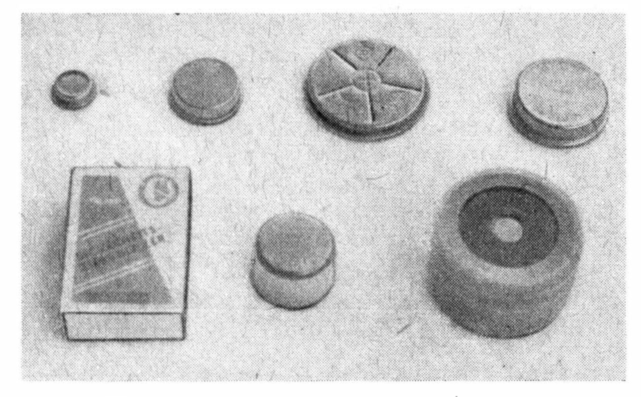


Bild 29 Gasdichte Knopfzellen (von links nach rechts); oben 50 mAh, 225 mAh, 500 mAh, unten Batterien 2,4 V/ 225 mAh und 4,8 V/450 mAh

— Er hat mit „nur“ 200 Zyklen eine relativ geringe Lebensdauer.
— Überladung, zu tiefe bzw. zu starke Entladung und Lagerung im entladenen Zustand mindern die Lebensdauer erheblich.
— Seine Selbstentladung ist höher als die des offenen NK-Akkus.

Der gasdichte NK-Akku wurde erst vor einigen Jahren auf den Markt gebracht. Mit der weiteren Entwicklung dieses bereits jetzt für viele Anwendungszwecke äußerst vorteilhaften Sekundärelements wird sich die Reihe der Vorteile noch mehren und die der Nachteile weiter vermindern.
Bild 29 und Bild 30 zeigen eine Reihe der vom VEB Grubenlampenwerke Zwickau produzierten gasdichten NK-Akkus. Eine vollständige Übersicht über das Fertigungsprogramm der DDR gibt Tabelle 5.4. im Anhang. Gasdichte Sammler werden gegenwärtig nur bis zu einer Kapazität von 7,5 Ah hergestellt, umfassen aber damit fast den gesamten Bereich der für den Amateur interessanten transportablen Stromquellen. Mit ihren Ausmaßen und technischen Daten brechen sie gleichzeitig in ein Anwendungsgebiet ein, das bisher fast ausschließlich Primärstromquellen vorbehalten blieb, und bilden — das ist heute schon abzusehen — die „Wachablösung“ für diese. Der folgende Vergleich zwischen der gasdichten Rundzelle 1,2 V/3 Ah und dem Stabelement EJT 1,5 wird

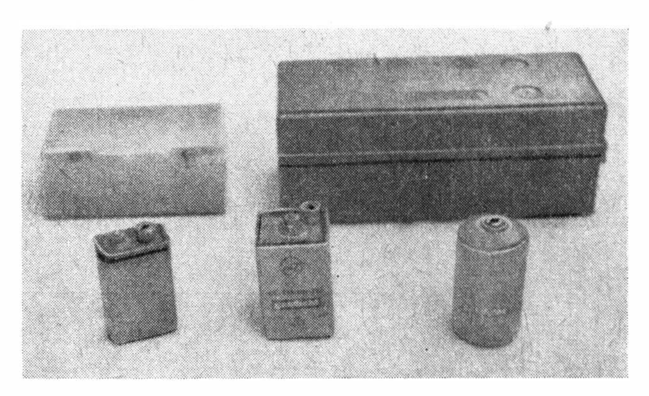


Bild 30 Prismatische- und Rundzellen (von links nach rechts): oben Batterien 6 V/1 Ah und 12 V/2 Ah, unten Zellen 1 Ah, 2 Ah und 3 Ah

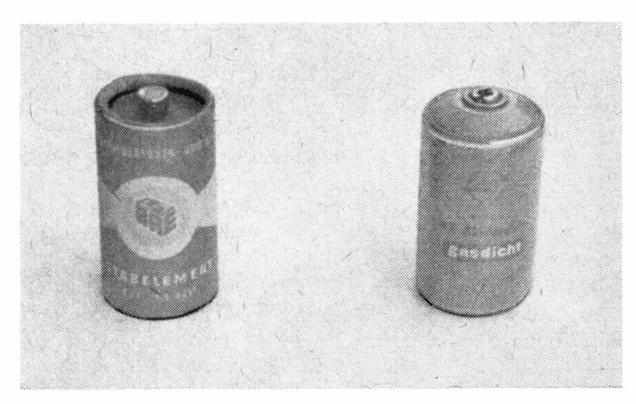


Bild 31 Stabelement *EJT 1,5* und gasdichte Rundzelle 1,2 V/3 Ah

diese Behauptung belegen. Beide Elemente haben gleiche Abmessungen und sind darum für einen Vergleich besonders geeignet (s. Bild 31).

	Stab-element	gasdichte Rundzelle
Nennspannung	1,5 V	1,2 V
Entlade-Anfangsspannung	1,5 V	1,35 V
Entlade-Schlußspannung	0,75 V	1,10 V
Abweichung von der Nennspannung	50 %	8,3 %
Arbeitsvermögen		
— intermitt. Entladung (täglich 30 min)	3,86 Wh	3,66 Wh
— Dauerentladung	1,25 Wh	3,66 Wh
Lebensdauer	1 Entladung	200 Entladung.
gesamtes Arbeitsvermögen	3,86 Wh	730 Wh
Masse	95 g	145 g

Bild 32 zeigt die Entladekurven beider Elemente.
Die hervorstechendsten Merkmale des gasdichten NK-Akkus sind seine Wiederladbarkeit, seine bis zum Ende der Entladung nahezu gleichbleibende Spannung und die Unabhängigkeit seines Arbeitsvermögens von der täglichen Entladedauer.

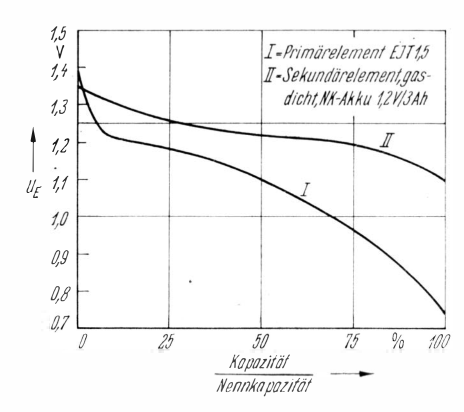


Bild 32 Entladekurven-Vergleich zwischen Primärelement und gasdichtem NK-Sammler

Diese Vorteile rechtfertigen den heute noch recht hohen Einzelhandelspreis. Mit der Schaffung automatischer bzw. halbautomatischer Ladegeräte wird die Bedeutung des gasdichten NK-Akkus auch für den „Normalverbraucher" in Zukunft weiter steigen.
Der Amateur sollte gasdichte NK-Akkus vor allem dort einsetzen, wo eine möglichst gleichbleibende Spannung (Transistorschaltungen), eine über längere Zeit gleichbleibende Belastung (Fernsteuermodelle, Kofferempfänger) und häufige Nutzung (Kofferempfänger, Fernsteuermodelle) erforderlich sind.

3.5.3. Ladung, Entladung und sonstige Behandlung

Die oben angegebene Lebensdauer von 200 Zyklen erreicht der gasdichte NK-Akku nur, wenn die Betriebsvorschriften des Herstellers eingehalten werden.

Feststellen des Ladezustands

Auch beim gasdichten NK-Akku ist der Ladezustand einzig durch Messen der Entladespannung einigermaßen genau zu bestimmen. Da diese sich während der gesamten Entladung nur in sehr geringen Grenzen ändert, empfiehlt sich die bereits beim offenen NK-Sammler beschriebene Methode zur

Erhöhung der Ablesegenauigkeit (s. Bild 26). Als Richtwerte für den Ladezustand ($I_E = 0{,}1$ A/Ah; Nennkapazität $\triangleq$ 100 %) je nach Meßergebnis gelten:

Zellenspannung	Ladezustand
1,30 V	90 %
1,25 V	70 %
1,20 V	30 %
1,15 V	10 %

Eine Kurzschlußstrommessung zur Feststellung des Ladezustands wie bei Primärelementen ist bei gasdichten NK-Akkus nicht statthaft.

Ladung des gasdichten NK-Sammlers

Bild 33 zeigt die Ladekurve für Normalladung (14 h mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah). Die Ladespannung steigt langsam bis zur Ladeschlußspannung. Beim gasdichten NK-Sammler fehlt das für Blei- und NK-Sammler charakteristische steile Ansteigen der Ladespannung im 3. Drittel der Ladung.
Der Nennladestrom darf $I_L = 0{,}11$ A/Ah nicht überschreiten; ebenso ist eine Überladung unbedingt zu vermeiden. In beiden Fällen könnten die im Innern der Zelle zu schnell entstehenden Gase nicht mehr vollständig absorbiert werden. Die Folge wäre ein Aufblähen bzw. Explodieren der Zelle. Aus diesem Grund ist die 14stündige Normalladung nur zulässig, wenn die Zelle vorher bis zur Entladeschlußspannung (1,1 V) ent-

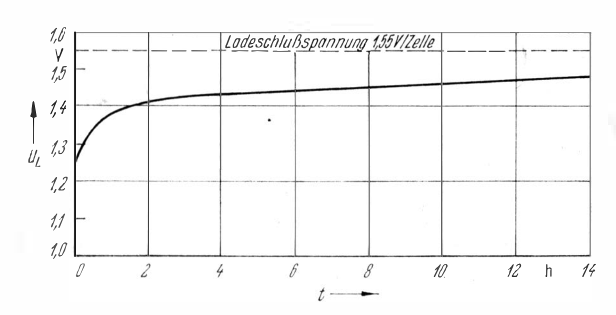


Bild 33 Ladekurve des gasdichten NK-Sammlers

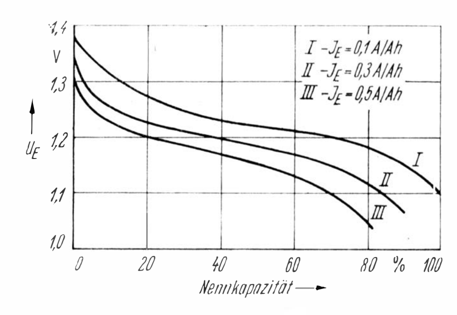


Bild 34 Entladekurven des gasdichten NK-Sammlers

laden wurde. War das nicht der Fall, so muß man die Ladung bei U_L = 1,5 V/Zelle unbedingt beenden!
Wird dauernde Einsatzbereitschaft des gasdichten Sammlers gefordert, so darf die Erhaltungsladung mit maximal I_L = 0,002 A/Ah (Kompensation der Selbstentladung und geringerer Betriebsentladung) durchgeführt werden.

Entladung des gasdichten NK-Sammlers
In Bild 34 sind die Entladekurven für unterschiedliche Entladeströme dargestellt. Normalerweise ist der Nennladestrom I_E = 0,1 A/Ah nicht zu überschreiten. Auf ihn bezieht sich auch die Nennkapazität des gasdichten NK-Sammlers. Es gibt jedoch Einsatzgebiete, bei denen man diesen Strom nicht einhalten kann. Auf keinen Fall darf jedoch bei Dauerentladung der Entladestrom I_E = 0,5 A/Ah überschritten werden. Je nach Entladestrom hat man die Entladung jeweils bei folgender Zellenspannung unbedingt zu beenden:

Entladestrom	Entladeschlußspannung
0,1 A/Ah	1,10 V/Zelle
0,2 A/Ah	1,08 V/Zelle
0,3 A/Ah	1,05 V/Zelle
0,5 A/Ah	1,00 V/Zelle

Lagerung des gasdichten NK-Sammlers
Der gasdichte NK-Sammler darf nur in geladenem Zustand gelagert werden, und zwar nach Möglichkeit kühl und trocken.

Wegen der Selbstentladung muß man nach einer halbjährigen Lagerzeit eine Normalladung durchführen.

Pflege des gasdichten NK-Sammlers
Die einzige Pflege besteht in der trockenen (!) Reinigung der Kontaktstellen. An Zellen, die nicht mit Lötösen versehen sind, darf nicht gelötet werden. Der gasdichte NK-Akku ist auf keinen Fall zu öffnen. Auch die bei den größeren gasdichten Zellen angebrachten Sicherheitsventile dürfen nicht geöffnet werden. Nachfüllen von Elektrolyt ist verboten.

Hochbelastbare gasdichte NK-Zelle 1,2 V/225 mAh
Als Spezialausführung werden die gasdichte Zelle 1,2 V/225 mAh, Kenn-Nr. 9170.3/1, und die aus 6 solchen Zellen bestehende Batterie 7,2 V/225 mAh, Kenn-Nr. 9180.3/1,6, gefertigt. Sie haben einen geringeren Innenwiderstand und sind deshalb besonders für höhere Belastungen geeignet. Bei diesen Typen sind eine Dauerentladung bis 0,8 A und eine Impulsentladung bis zu 1,5 A statthaft. Die Ladung geschieht jedoch wiederum mit $I_L = 0,1$ A/Ah.

3.6. Der Silber-Zink-Sammler

Als letzte Sekundärelement soll in dieser Broschüre der Silber-Zink-Sammler kurz erwähnt werden. Er ist der jüngste und teuerste Akkumulator mit der geringsten Lebensdauer. Seine Entwicklung dürfte noch bei weitem nicht abgeschlossen sein.

3.6.1. Chemische Vorgänge und konstruktiver Aufbau

Die Elektroden des Ag-Zn-Sammlers bestehen je nach Ladezustand aus folgenden Stoffen:

Ladezustand	positive Elektrode	negative Elektrode
entladen	Silber (Ag)	Zinkhydroxyd $(Zn)OH)_2)$
geladen	Silberoxyd (AgO)	Zink (Zn)

Als Elektrolyt wird wiederum Kalilauge (KOH) verwendet. Die chemischen Vorgänge bei Ladung und Entladung lassen sich durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$Ag + ZN(OH)_2 + KOH \underset{\text{Entladung}}{\overset{\text{Ladung}}{\rightleftharpoons}} AgO + Zn + KOH + H_2O$$

Aus der Gleichung läßt sich bereits erkennen, daß bei der Ladung durch Bildung von Wassermolekülen die Konzentration des Elektrolyts abnimmt. Wie beim Bleisammler, bei dem die Dichteänderung allerdings in umgekehrter Reihenfolge verläuft, kann diese Erscheinung zur Bestimmung des Ladezustands genutzt werden. Das Elektrolytgefäß besteht aus durchsichtigem Kunststoff. Als Separatoren kommen Dederon- bzw. Zellophanüberzüge über die Platten.

3.6.2. Technische Daten des Silber-Zink-Sammlers

Ag-Zn-Sammler haben, unabhängig von Typ und Herstellerland, folgende allgemeingültige technische Daten:

Spannung je Zelle

Nennspannung	1,5 V
Lade-Anfangsspannung	1,65 V
Lade-Schlußspannung	2,1 V
Entlade-Anfangsspannung	1,65 V
Entlade-Schlußspannung	1,0 V

Bei Erreichen der Lade-Schlußspannung ist die Ladung sofort zu beenden!

Ladebedingungen (s. auch 3.6.4.)

Normalladung	— 12 h laden mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah
Ausgleichsladung	— (wird jeweils nach 10 Zyklen durchgeführt) — 25 h laden mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah
Schnelladung	— darf nur in dringenden Fällen verwendet werden, da bleibende Kapazitätsminderung folgt — 2,5 h laden mit $I_L = 0{,}4$ A/Ah. Nach jedem Schnelladungszyklus muß eine Ausgleichsladung durchgeführt werden.
Inbetriebsetzungsladung	— (fabrikneuer Sammler) Beginn der Ladung erst 24 h nach Einfüllen des Elektrolyts; Ladeschlußspannung 2,0 V einhalten! 25 h laden mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah.

Entladebedingungen

normale Entladung	— 5 h entladen mit $I_E = 0{,}2$ A/Ah
maximaler Entladestrom	— 5 min entladen mit $I_E = 5$ A/Ah

Sonstige Angaben

Lebensdauer — 50 bis 100 Zyklen bzw. 1 Jahr

Selbstentladung — nach 4 Wochen 10%
nach 8 Wochen 15%
nach 52 Wochen 25%

Innenwiderstand — $R_i \approx$ 2 mΩ/Ah

Kapazität/Volumen = 120 Ah/dm³

Kapazität/Gewicht = 90 Ah/kp

Elektrolyt Kalilauge (KOH) der Dichte 1,4 g/cm³

Temperaturverhalten — Die Nennkapazität bezieht sich auf + 20 °C.

Bei jeder Abweichung von dieser Temperatur verringert sich die Kapazität — bei — 20 °C etwa 50% der Nennkapazität, bei + 30 °C etwa 85% der Nennkapazität.

3.6.3. Vorteile, Nachteile und Verwendung des Silber-Zink-Sammlers

Gegenüber anderen Sekundärelementen bietet der Silber-Zink-Sammler folgende Vorteile:

— Er hat gegenüber dem Bleiakku bei gleicher Kapazität $^1/_5$ des Volumens und $^1/_6$ des Gewichts.

— Er ist starken Belastungen gegenüber nahezu unempfindlich. Ein Akku mit der Nennkapazität 0,5 Ah kann z. B. einen kurzzeitigen Stromimpuls von 600 A abgeben. Seine Unempfindlichkeit gegenüber höchster Belastung wird einzig durch den Querschnitt der Polzuführungen und durch die Wärmeempfindlichkeit des Gehäusematerials begrenzt.

— Seine Selbstentladung ist sehr gering.

— Er erweist sich als relativ lecksicher, pflegearm und stoßunempfindlich.

Dem stehen z. Z. folgende Nachteile des Silber-Zink-Sammlers gegenüber:

— Sein Preis liegt recht hoch (z. B. in den USA bis zu 12 Dollar/Ah).

— Er hat mit 12 Monaten die geringste Lebensdauer.

— Er ist äußerst empfindlich gegen Überladung.

In der DDR werden gegenwärtig noch keine Silber-Zink-Sammler gefertigt. Unser Bedarf wird durch ein ziemlich umfangreiches Sortiment sowjetischer Sammler gedeckt. Für

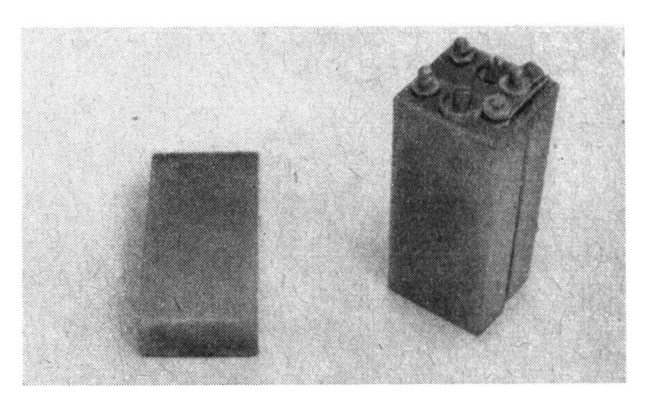


Bild 35 Sowjetischer 12-Ah-Silber-Zink-Sammler

den Amateur haben Silber-Zink-Sammler bis jetzt wegen des großen Aufwands und wegen ihrer geringen Lebensdauer kaum Bedeutung (was sich allerdings mit der weiteren Entwicklung dieses Sammlers ändern kann!). Die Verwendung des Ag-Zn-Akkus blieb bisher Spezialzwecken vorbehalten, bei denen seine Vorteile voll zur Geltung kommen. So wird er z. B. auf Grund seines enormen Arbeitsvermögens je Volumen in transportablen Funkstationen kleinster Abmessungen eingesetzt. Bild 35 zeigt einen solchen Sammler (12 Ah).

3.6.4. Ladung, Entladung und Pflege des Silber-Zink-Sammlers

Im Interesse seiner Lebensdauer sollten bei der Nutzung des Ag-Zn-Sammlers folgende Hinweise beachtet werden:

Herstellung des Elektrolyts und Umgang mit Kalilauge
(s. 3.6.3. und 3.4.5.)

Inbetriebsetzung fabrikneuer Silber-Zink-Sammler
Ungefüllt gelieferte Ag-Zn-Sammler werden wie folgt formiert:
— Einfüllen von Elektrolyt (Kalilauge 1,4 g/cm³) bis zur oberen Kontrollmarke, Füllverschluß einschrauben;
— nach 24 h Laugestand kontrollieren und bis zur unteren Kontrollmarke ergänzen;

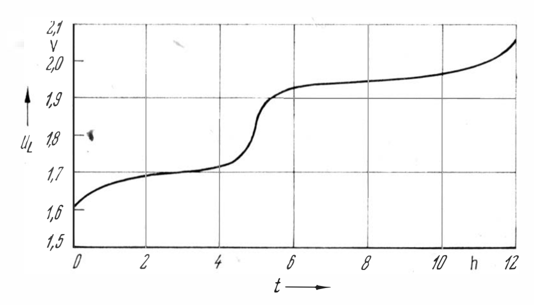


Bild 36 Ladekurve des Silber-Zink-Sammlers

— anschließend Inbetriebsetzungsladung: 25 h laden mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah (bei $U_L = 2{,}0$ V/Zelle Ladung beenden!);
— an diese erste Ladung schließt sich möglichst ein gesamter Zyklus an — entladen mit 0,05 A/Ah bis $U_E = 1{,}0$ V/Zelle — laden 25 h mit $I_L = 0{,}05$ A/Ah.

Nach dieser Behandlung ist der Silber-Zink-Sammler betriebsbereit.

Feststellung des Ladezustands bei Ag-Zn-Sammlern

Bei der Ladung verringert sich die Elektrolytkonzentration, demzufolge steigt der Laugespiegel in der Silber-Zink-Zelle. Im entladenen Zustand muß der Elektrolyt bis zur unteren, im geladenen bis zur oberen Kontrollmarke stehen. Aus dem Abstand zwischen beiden Markierungen und dem augenblicklichen Laugespiegel läßt sich die noch entnehmbare Elektrizitätsmenge bestimmen.

Ladung des Silber-Zink-Sammlers

In Bild 36 ist die typische Ladekurve für Normalladung (12 h laden mit $I_L = 0{,}1$ A/Ah) dargestellt. Der zeitliche Ablauf aller beim Silber-Zink-Sammler üblichen Ladungen wurde bereits in Abschnitt 3.6.2. beschrieben. Ein Überladen, d. h. Weiterladen nach Erreichen der Ladeschlußspannung 2,05 V/Zelle, führt zur Zerstörung des Sammlers und ist deshalb unter allen Umständen zu vermeiden.

Entladung des Silber-Zink-Sammlers

In Bild 37 sind die typischen Entladekurven für 10- und 1stündige Entladung des Silber-Zink-Sammlers dargestellt. Die Entladeschlußspannung 1,0 V/Zelle sollte möglichst eingehalten werden.

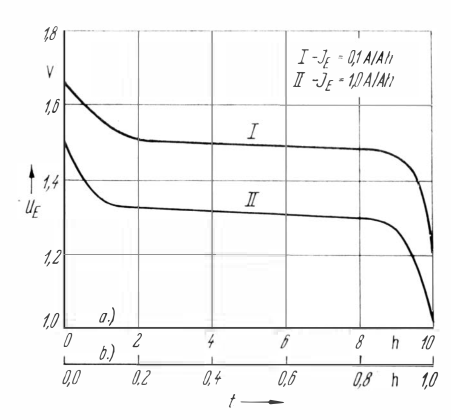


Bild 37 Entladekurven des Silber-Zink-Sammlers für 1- und 10stündige Entladung

Kurzregeln für die allgemeine Pflege des Ag-Zn-Sammlers

— Sammler äußerlich sauber- und trockenhalten;

— Laugestand des öfteren kontrollieren und ergänzen (s. *Feststellung des Ladezustands*, S. 86). Nur Kalilauge der Dichte 1,4 g/cm³ (niemals destilliertes Wasser) nachfüllen;

— ein Laugewechsel erübrigt sich bei der Gesamtlebensdauer von 12 Monaten.

4. Die Ladetechnik

Für die Inbetriebsetzung fabrikneuer Sammler, für den laufenden Betrieb, für die Pflege (Elektrolytwechsel, Ausgleichsladung, Wasserladung) und für Kapazitätskontrollen benötigt der Amateur ein entsprechendes Ladegerät. Mit Aufbau und Einsatz solcher Geräte beschäftigt sich dieser Abschnitt der Broschüre.

4.1. Ladearten

Je nach Verhalten der Ladespannung und des Ladestroms während der Ladung können wir 2 Extremfälle der Sammlerladung unterscheiden.

Die *Konstantstromladung* wird mit konstantem Ladestrom und steigender Ladespannung durchgeführt. Diese Ladeart ist bei Inbetriebsetzungsladungen, Ausgleichsladungen und Kapazitätskontrollen unbedingt erforderlich, da nur sie die exakte Berechnung der geladenen Elektrizitätsmenge (Ladestrom mal Ladezeit) ermöglicht. Aus diesem Grund ist die Konstantstromladung auch für Normalladungen im laufenden Betrieb vorteilhaft.

Die *Konstantspannungsladung* wird mit konstanter Ladespannung und kleiner werdendem Ladestrom vorgenommen. Bei richtiger Ladespannung ist während der Ladung keinerlei Überwachung erforderlich. Diese Ladeart kann zur Kompensation der Selbstentladung (Ladungserhaltung) oder zur Dauerladung (Pufferbetrieb) verwendet werden.

Zwischen diesen beiden Extremfällen gibt es das *Laden nach Widerstandskennlinie*, das mit kleiner werdendem Ladestrom und steigender Ladespannung durchzuführen ist. Durch geeignete Dimensionierung der Ladespannung und des Vorwiderstands muß der anfängliche Ladestrom so gewählt werden, daß man im Mittel mit dem Normalladestrom lädt. Um die Stromänderung während der Ladung in möglichst kleinen Grenzen zu halten, sollte die Spannung des Ladegeräts mindestens doppelt so groß sein wie die Nennspannung des zu ladenden Sammlers.

4.2. Konstantstromladegeräte

Die Ladung mit konstantem Strom ist schnell und sicher. Zudem müssen einige spezielle Ladungen, bei denen eine exakte Ermittlung der geladenen Elektrizitätsmenge erforderlich ist (s. 4.1.), ohnehin mit konstantem Strom durchgeführt werden. Der Amateur wird sich also bei der Schaffung bzw. Beschaffung eines eigenen Ladegeräts vorwiegend auf diese Ladeart orientieren.
Die Spannung des Konstantstromladegeräts soll geringfügig über der Ladeschlußspannung der zu ladenden Batterie liegen. Als Richtwert für die Festlegung der Ladespannung (in Abhängigkeit von der Nennspannung bzw. der Zellenzahl) gelten:

Sammlertyp	Spannung des Ladegeräts
Bleisammler	1,5 $U_{Nenn} \triangleq$ 3 V/Zelle
NK-Sammler (offen)	1,6 $U_{Nenn} \triangleq$ 1,9 V/Zelle
NK-Sammler (gasdicht)	1,4 $U_{Nenn} \triangleq$ 1,6 V/Zelle
Silber-Zink-Sammler	1,5 $U_{Nenn} \triangleq$ 2,2 V/Zelle

Im folgenden werden einige Schaltungsvorschläge für Konstantstromladegeräte gegeben.

4.2.1. Manuelle Konstanthaltung des Ladestroms

In Bild 38 ist die einfachste Schaltung eines Konstantstromladegeräts dargestellt. Mit dem Mehrstellenschalter (Sch 2) kann die Ausgangsspannung des Ladegeräts stufenweise verändert werden. Vor jeder Ladung wird mit diesem Schalter

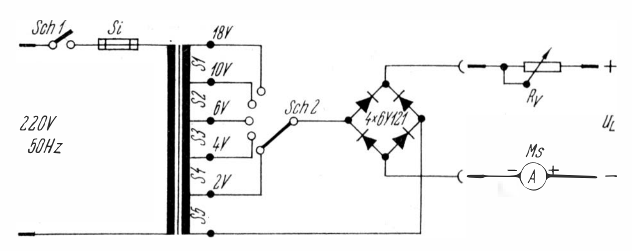


Bild 38 Konstantstromladegerät

die für den jeweiligen Sammlertyp erforderliche Ladespannung gewählt.

Beispiel Motorradbatterie 6 V / 12 Ah (Blei)
Ladespannung (Bleibatterie) = 1,5 U_{Nenn} = 9 V; der Spannungswahlschalter wird also in die Stellung *10 V* gebracht.

Die in Bild 38 angegebenen Ausgangsspannungen genügen den meisten Ansprüchen des Amateurs. Für diese Spannungswerte und für einen Ladestrom von $I_L = 4$ A gilt das nachfolgende Wickelschema:

Trafokern M 102/35 (Dynamoblech IV)

1 — Grundisolation	2×0,1-mm-Lackpapier
2 — Primärwicklung	0,47-mm-CuL; 702 Wdg; 104 Wdg./Lg.; 7 Lg.
Lagenisolation	1×0,06-mm-Lackpapier nach jeder Drahtlage
3 — Zwischenisolation	2×0,1-mm-Lackpapier
4 — 1. Sekundärwicklung	1,35-mm-CuL; 34 Wdg.; 1 Lg.
5 — Zwischenisolation	1×0,1-mm-Lackpapier
6 — 2. Sekundärwicklung	1,35-mm-CuL; 17 Wdg.; 1 Lg.
3. Sekundärwicklung	1,35-mm-CuL; 9 Wdg.
7 — Zwischenisolation	1×0,1-mm-Lackpapier
8 — 4. Sekundärwicklung	1,35-mm-CuL; 8 Wdg.
5. Sekundärwicklung	1,35-mm-CuL; 9 Wdg.
9 — Deckisolation	2×0,1-mm-Lackpapier

Für die Berechnung anderer Ladetrafos empfiehlt sich die in der Zeitschrift *radio und fernsehen* 23 (1966) bis 10 (1967) erschienene Artikelserie *Berechnung von Netzkleintransformatoren.* Die Gleichrichtung des Ladestroms erfolgt durch 4 Germaniumdioden *GY 121* in *Graetz*-Schaltung. Für Ladeströme bis 1 A genügen Germaniumdioden *GY 111.* Der Amateur kann sich auch für entsprechend belastbare Selengleichrichter entscheiden. Der durch die *Graetz*-Schaltung erzeugte pulsierende Gleichstrom läßt sich ohne weitere Siebung unmittelbar zum Laden verwenden.

Um das Ladegerät möglichst universell, also für die unterschiedlichsten Sammlertypen, nutzen zu können, wird der veränderbare Vorwiderstand nicht fest in das Ladegerät eingebaut.

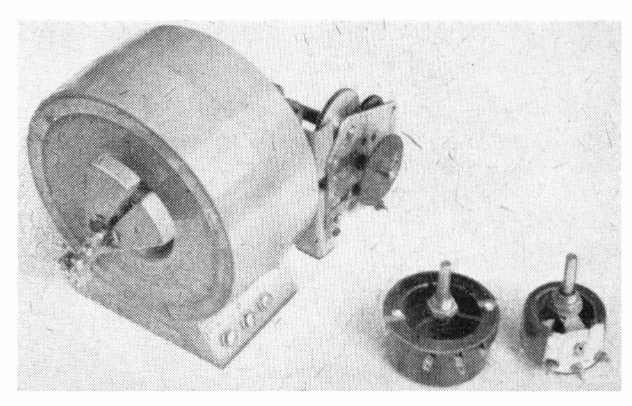


Bild 39 Regelbare Bauelemente für Ladegeräte (von links nach rechts Ringkernstelltrafo 1 kW, Meßdrahtdrehwiderstand 4 W, Hochlastdrahtdrehwiderstand 25 W)

Tabelle der wichtigsten Drahtdrehwiderstände (s. Bild 39)

Widerstandstyp		zulässiger Ladestrom
Meßdrahtdrehwiderstand	50 Ω/ 4 W	$I_L = 250$ mA
Hochlastdrahtdrehwiderstand	10 Ω/ 10 W	$I_L = 1{,}0$ A
Hochlastdrahtdrehwiderstand	5 Ω/ 10 W	$I_L = 1{,}4$ A
Hochlastdrahtdrehwiderstand	5 Ω/ 25 W	$I_L = 2{,}2$ A
Hochlastdrahtdrehwiderstand	5 Ω/ 50 W	$I_L = 3$ A
Hochlastdrahtdrehwiderstand	5 Ω/100 W	$I_L = 4{,}5$ A

Bei der Berechnung dieses Widerstands muß man vom Beginn der Ladung (also von der Ladeanfangsspannung) ausgehen, da hierbei die größte Spannung am Vorwiderstand abfällt.

1. Beispiel (s. oben) Motorradbatterie 6 V/12 Ah
Ladeanfangsspannung (Bleibatterie) 6,6 V;
in Schalterstellung *10 V* müssen also 3,4 V bei $I_L = 1{,}2$ A am Widerstand abfallen

$$R_v = \frac{3{,}4\ \text{V}}{1{,}2\ \text{A}} \approx 3\ \Omega;$$

man wählt den Hochlastdrahtdrehwiderstand 5 Ω/10 W.

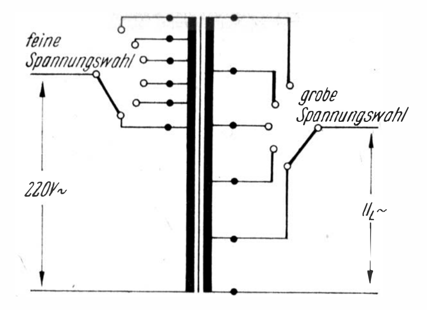


Bild 40
Ladetrafo mit
Möglichkeit der
Stromregelung

2. Beispiel Ladung einer gasdichten NK-Batterie 12 V/2 Ah
Spannungswahlschalter Stellung *18 V*;
Ladeanfangsspannung 10 Zellen · 1,3 V/Zelle = 13 V.
Bei I_L = 200 mA müssen also 5 V am Vorwiderstand abfallen;

$$R_V = \frac{5\ \text{V}}{200\ \text{mA}} = 25\ \Omega;$$

man wählt den Meßdrahtdrehwiderstand 50 Ω/4 W.

Für Ladeströme über 4,5 A sind Schiebewiderstände zu verwenden. Während der Ladung wird am Amperemeter (möglichst Vielfachmesser) stündlich der Ladestrom kontrolliert und, falls erforderlich, mittels Drehwiderstands auf den gewünschten Wert nachgeregelt. In Bild 40 ist ein Ladetrafo abgebildet; seine Verwendung erspart den kostspieligen veränderbaren Widerstand. Der Ladestrom wird stufenweise über die einzelnen Anzapfungen der Primärwicklung geregelt.

4.2.2. Automatische Konstanthaltung durch Elektromotor-Regelung

Mit steigender Zellenspannung im Verlauf der Ladung geht der anfänglich eingestellte Ladestrom zurück. Also muß bei der Konstantstromladung 1- bis 2mal stündlich der Ladestrom auf den geforderten Wert geregelt werden. Diesem Nachteil der Konstantstromladung sowie der Notwendigkeit ständiger Überwachung begegnet man im Zeitalter der Regeltechnik durch automatische Ladegeräte.
Bild 41 zeigt einen entsprechenden Schaltungsvorschlag.

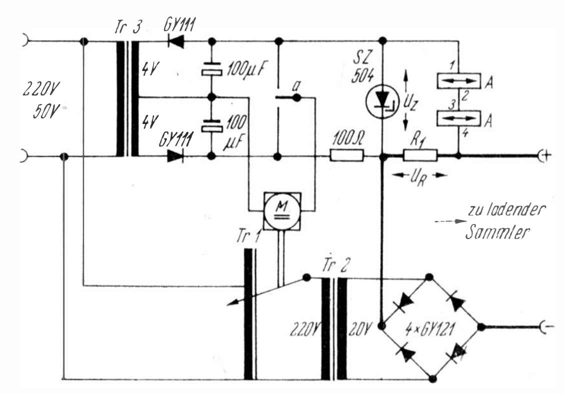


Bild 41 Prinzipschaltbild für automatisches Konstantstromladegerät mit Ringkernstelltrafo

Hauptbestandteil dieser Schaltung bildet ein Ringkernstelltrafo (s. Bild 39), dessen Ausgangsspannung stetig regelbar ist. Die Schleiferachse des Stelltransformators wird über ein Untersetzungsgetriebe von einem 6-V-Gleichstrommotor angetrieben. Die Antriebsrichtung des Motors hängt von der Polarität der Spannung ab. Trafo 2 fungiert als eigentlicher Ladetrafo, wandelt also die im Bereich von 180 bis 250 V liegende Ausgangsspannung des Ringkernstelltrafos in die benötigte Ladespannung um. An dem im Ladestromkreis (stark gezeichnet) liegenden Widerstand Rl fällt je nach Ladestromstärke eine bestimmte Spannung U_r ab, die mit der Zenerspannung U_Z verglichen wird. Das A-Relais ist ein gepoltes Relais mit Ruhelage zwischen den Kontakten (Telegrafenrelais Rls 0377.001-51212). Dieses Relais spricht bereits bei einer Erregerspannung von 15 mV an.

Ladestrom zu hoch
$U_R > U_Z$; a-Kontakt legt auf Trennseite (T); Motor läuft, und Ausgangsspannung des Tr1 verringert sich bis $U_R = U_Z$.

Ladestrom normal
$U_R = U_Z$; a-Kontakt bleibt in Mittellage.

Ladestrom zu niedrig
$U_R < U_Z$; a-Kontakt legt auf Zeichenseite (Z); Motor läuft, und Ausgangsspannung des Tr1 vergrößert sich bis $U_R = U_Z$.

Je nach Größe des Widerstands Rl können beliebige Ströme konstantgehalten werden. Der nicht billige Ringkernstelltrafo kann außerhalb der Ladezeit mit gleichem Motor, gleichem Getriebe und gleicher Stromversorgung, aber separatem Regelglied als automatischer Spannungskonstanthalter verwendet werden. Eine gleichartige Ladestromreglung ist (an Stelle des Ringkernstelltrafos) auch mit einem „motorisierten" Drahtdrehwiderstand möglich.

4.2.3. Automatische Konstanthaltung durch elektronische Regelung

Bild 42 zeigt die Schaltung eines automatischen Ladegeräts mit elektronischer Stromregelung. Mit dem Potentiometer lassen sich Ladeströme zwischen 30 mA und 300 mA einstellen, die dann, unabhängig von Akkutyp und Akkuspannung, konstant bleiben. Diese Schaltung ist besonders zur Ladung gasdichter NK-Sammler geeignet. Beschreibung der Wirkungsweise siehe *Das große Elektronikbastelbuch* von *H. Jakubaschk.*

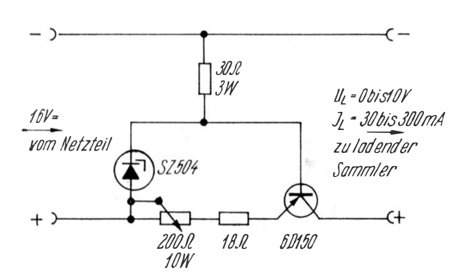


Bild 42 Elektronische Konstanthaltung des Ladestroms

5. Anhang

5.1. Primärstromquellen der DDR-Produktion

Primärelement bzw. Batterie	Abmessungen (mm) rund: $d \times h$ eckig: $l \times b \times h$	Masse (g)	Lagerfähig (Monat)	Entladewiderstand (Ω)	Tägl. Entladezeit (h)	Entladeschlußspannung (V)	Gesamte Entladezeit (h)	Arbeitsvermögen (Wh)
EJT normal	33 × 63	95	6	5	0,5	0,75	16	3,86
EJT Heizelement	33 × 63	97	6	5	4,0	1,0	8	2,28
EJT Leak-Proof	33 × 63	100	12	5	4,0	1,0	8	2,28
EAaT 1,5	14 × 50,5	14	3	50	8,0	0,9	20	0,54
EAbT 1,5	14 × 25,3	6	3	300	8,0	0,9	60	0,29
ELT 1,5	55 × 55 × 125	450	12	20	Dauerentl.	0,75	400	21,11
ENT 1,5	88 × 88 × 200	1550	12	5	Dauerentl.	0,75	450	95,72
BCT 3	21 × 74	40	6	10	0,5	1,5	1,5	0,75
BDT 4,5	22 × 62,5 × 66	110	6	15	0,17	2,25	3,5	2,97
BJaT 6	67 × 67 × 102	565	6	60	4,0	5,0	40	17,95
BP 1829/9	23 × 32 × 69	80	6	900	4,0	6,0	40	2,03
BP 1121/22,5	15 × 25 × 50	35	6	45000	8,0	15,0	192	1,13
BP 1829/67,5	31,5 × 68 × 96	355	6	6750	4,0	40,0	32	15,00

5.2. Starter- und Kradbatterien der DDR-Produktion

Typ	Abmessungen (mm) Länge	Breite	Höhe	Preis (M)	Verwendbar für
6 V/4,5 Ah	105	50	165	20,—	Schwalbe
6 V/8 Ah Ekadur	104	94	163	19,05	RT 125, Es, Pitty, Wiesel, Berlin, Jawa (125—175 cm³), Pannonia
6 V/8 Ah Glas	104	94	163	14,50	(wie oben)
6 V/12 Ah	115	60	135	28,50	Troll, Cezeta, Manet
6 V/16 Ah	140	94	163	27,50	Jawa (250—350 cm³)
6 V/56 Ah	170	175	213	40,70	Trabant
6 V/84 Ah	230	175	213	51,75	EMW, Wartburg
12 V/54 Ah	230	180	245	75,90	Wolga, Gas 69
12 V/56 Ah	310	175	213	75,90	P 70, Škoda, Moskwitsch, Tschaika
12 V/84 Ah	420	175	213	95,90	Sachsenring, LO 1800 A
12 V/105 Ah	509	196	240	156,00	für Traktoren, LKWs, Eidechsen und Omnibusse
12 V/135 Ah	510	218	238	190,40	(wie oben)
12 V/150 Ah	509	244	240	206,30	(wie oben)
12 V/180 Ah	416	296	250	215,30	(wie oben)

Die Motorradbatterie 6 V/8 Ah ist auch als NK-Sammler erhältlich.

5.3. Klein-Bleiakkumulatoren (Firma D. Quaiser, Dresden)

Eigenschaften: — durch Spezialschraubverschlüsse kippsicher
— glasklare, säurebeständige Zellengefäße
— Säurestand und Ladezustand durch drei farbige Schwimmerkugeln jederzeit erkennbar

Verwendung: — Elektronenblitzer
— Tonbandgeräte (Bändi I)
— Film-Kameras (AK 16, Praktina FX)
— Amateur-Geräte u. a.

Techn. Daten: siehe Fahrzeugsammler (Abschnitt 3.2.3.)

Typen:

Bezeichnung	Abmessung der Zelle (mm)	Masse der Zelle (g)	Batterien lieferbar mit:
2 Gi 3 Ah	61×25× 90	260	1, 2, 3, 4, 6 Zellen
1 Gi 4 Ah	92×25×110	400	3 Zellen
2 Gi 5 Ah	65×40×105	500	1, 2, 3, 6 Zellen
3 Gi 6 Ah	65×40×105	500	1, 2, 3, 6 Zellen
2 Gi 8 Ah	80×40×125	690	1, 2, 3, 6 Zellen
3 Gi 10 Ah	80×40×125	720	1, 2, 3, 6 Zellen

5.4. Offene NK-Sammler der DDR-Produktion

Typ	Abmessungen (mm)	Masse der Zelle komplett	(kg) der Lauge/Zelle	Batterieträger lieferbar für
Zellengefäß aus Polystyrol				
4 Ah	21 × 90 × 120	0,3	0,09	5, 10 bzw. 20 Zellen
8 Ah	29 × 90 × 120	0,4	0,10	5 bzw. 10 Zellen
12 Ah	40 × 90 × 120	0,5	0,11	5 bzw. 10 Zellen
16 Ah	50 × 90 × 120	0,6	0,12	5 bzw. 10 Zellen
Zellengefäß aus vernickeltem Stahlblech				
30 Ah	36 × 110 × 238	1,7	0,6	5 bzw. 10 Zellen
50 Ah	56 × 110 × 238	2,4	0,7	5 bzw. 10 Zellen
70 Ah	76 × 110 × 238	3,1	0,8	5 bzw. 10 Zellen

Weitere NK-Zellen (100 bis 750 Ah) werden hier nicht aufgeführt, da der Amateur kaum mit ihnen in Berührung kommt.

NK-Batterien				*Verwendung*
6 V/8 Ah	95 × 85 × 162	2,0	0,06	Kradbatterie
2,4 V/25 Ah	120 × 67 × 183	2,3	0,12	für Nachrichtengeräte

5.5. Gasdichte NK-Sammler der DDR-Produktion

Typ	Abmessungen (mm) rund: h × d eckig: l × b × h	Masse (g)	Entladeschlußspannung (V)	14stündige Ladestromstärke (mA)	Kenn-Nr.
1,2 V/5 mAh	5,9×6,5	0,85	1,1	0,5	9170.6
1,2 V/50 mAh	5,9×15,7	3,5	1,1	5	9170.1
1,2 V/225 mAh	8,6×25	11	1,1	22,5	9170.3
1,2 V/450 mAh	6,9×43	30	1,1	45	9170.4
1,2 V/500 mAh	9,5×34,3	23	1,1	50	9170.7/1
1,2 V/3 Ah	63×33,5	145	1,1	300	9170.5
2,4 V/225 mAh	17,7×26,2	30	2,2	22,5	9180.3.2
6 V/225 mAh	43,6×26,2	70	5,5	22,5	9180.3.5
7,2 V/225 mAh	52,3×26,2	82	6,6	22,5	9180.3/1.6
4,8 V/450 mAh	30×44,5	130	4,4	45	9131.4
6,0 V/450 mAh	37×44,5	160	5,5	45	9180.4.5
7,2 V/500 mAh	57,7×35,5	150	6,6	50	9180.7/1.6
1,2 V/1 Ah	19×34×61	80	1,1	100	9174.1
1,2 V/2 Ah	34×34×61	130	1,1	200	9174.2
1,2 V/6 Ah	28×50×109	420	1,1	600	9174.3
1,2 V/7,5 Ah	35,5×50×109	480	1,1	750	9174.4
6 V/1 Ah	104×41×68	585	5,5	100	9184.1.5
12 V/2 Ah	185×85×71	1650	11,0	200	9184.2.10

6. Literaturhinweise

Autorenkollektiv *electronicum*
Deutscher Militärverlag, Berlin 1967

Autorenkollektiv *Instandsetzung von Funkgeräten*
Deutscher Militärverlag, Berlin 1967

Pabst *Fehlersuche in Transistorempfängern*
VEB Verlag Technik, Berlin 1966

Reinhardt *Elektrotechnik*
VEB Verlag Technik, Berlin 1966

Reth *Grundlagen der Elektrotechnik*
VEB Verlag Volk und Wissen, Berlin 1961

Seifert/Zeh *Lehrbrief für Ladewarte*
VEB Grubenlampenwerke Zwickau 1962

Willms *Grundlagen der Elektrotechnik*
VEB Verlag Volk und Wissen, Berlin 1954

Zieke *Galvanische Elemente und Batterien tragbarer Meßgeräte, radio und fernsehen* (19), H. 12 und 13
Artikelreihe *Berechnung von Netzkleintransformatoren, radio und fernsehen* (1966), H. 23 bis (1967) H. 10